



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL.

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS
DE TRES ESPECIES FORESTALES: *Piptocoma discolor* (Kunth.) Pruski
(PIGUE), *Iriarteia deltoidea* Ruiz & Pav. (CHONTA) y *Pouteria glomerata*
(INTACHI).**

TRABAJO DE TITULACIÓN
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL**

MOREJÓN MORETA CARMEN ELIZABETH

RIOBAMBA- ECUADOR

2018

HOJA DE CERTIFICACION.

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA, que en el trabajo de investigación titulado: **DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE TRES ESPECIES FORESTALES: *Piptocoma discolor* (Kunth.) Pruski (PIGUE), *Iriartea deltoidea* Ruiz & Pav. (CHONTA) y *Pouteria glomerata* (INTACHI).** De responsabilidad de la señorita Carmen Elizabeth Morejón Moreta, ha sido prolijamente revisado por lo la estudiante puede realizar la sustentación del mismo.

TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

1.-----



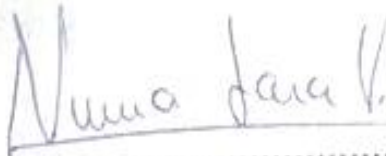
06-02-2018

Ing. Eduardo Patricio Salazar Castañeda

Fecha

Director

2.-----



06-02-2018

Ing. Norma Ximena Lara Vásconez

Fecha

Asesora

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.

Yo, Carmen Elizabeth Morejón Moreta declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 16 de febrero del 2018



.....
Carmen Elizabeth Morejón Moreta

020210467-5

AUTORIA

La autoría del presente trabajo investigativo es de propiedad intelectual del autor y de la Escuela de Ingeniera Forestal de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

DEDICATORIA.

Este trabajo está dedicado especialmente de todo corazón y con todo el amor del mundo a dos seres espectaculares David Morejón y Carmen Moreta, mis padres; quienes me dieron la vida y todo su amor desde el instante mismo que supieron de mi existencia, a ellos quienes han guiado mi vida paso a paso de la manera más sabia, adecuada, correcta y precisa que podría imaginar, dos ángeles que gracias a sus concejos han hecho de mi la mujer que soy y gracias a su apoyo, esfuerzo y sacrificio una profesional es por eso que dedico especialmente este trabajo a ellos porque sé que no hay mejor regalo para los padres que un hijo culmine una carrera profesional.

Además quiero mencionar en esta dedicatoria a mis hermanos Carlos M. quien ha sido mi compañía durante todos estos años de estudio lejos de casa y Jaime M. el motivo principal de superación para de esta manera poder apoyarte y cuidarte. También quiero mencionar a la familia Moreta González y mi abuelita Rosa González por siempre estar pendiente y dándome ánimos.

Finalmente dedico este trabajo y no por eso menos especial a Lenín Coloma el gran amor de mi vida, hombre que llego a mi vida en el momento más difícil y doloroso seguramente sin su apoyo incondicional no hubiese podido concluir todo este trabajo, agradezco todo tu tiempo, tus concejos y tu sacrificio pero especialmente la confianza y el amor que me has dedicado; no podría estar más agradecida ya que tú me has enseñado que nada es imposible y que a pesar de las dificultades que se nos puedan presentar no nos podemos dar por vencidos y más sabiendo que hay personas que confían en nosotros y nos miran con esperanza de un día mejor. Quiero dedicar también esto a nuestro pequeño Miguel Andrés que viene en camino ya que aun sin conocerlo llena de alegría nuestras vidas y por él debemos superarnos día a día.

Dedico este trabajo a todos ustedes por ser personas muy importantes en mi vida, con mucho cariño. Los quiero.

Elizabeth

AGRADECIMIENTO.

Agradezco primeramente a Dios por la salud, la vida, la fuerza y la sabiduría para poder culminar esta etapa de mi vida sin importar las dificultades y problemas que se me presentaron a lo largo de la carrera.

Además quiero hacer extensivo mi reconocimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la facultad de Recursos Naturales y especialmente a la Escuela de Ingeniería Forestal por haberme abierto sus puertas, brindado el conocimiento necesario y hacer de mi hoy una profesional.

Quiero también expresar un agradecimiento sentido lleno de gratitud, alegría y nostalgia a la vez. A quien fue un gran amigo, maestro y porque no decir un padre para mí el Ing. Eduardo Cevallos R. gracias por todas sus enseñanzas, su carisma y sus consejos. Ha pasado el tiempo y el dolor de su ausencia sigue intacta. Ingeniero donde quiera que se encuentre gracias por su amistad.

A los ingenieros Eduardo Salazar Castañeda director de mi trabajo de titulación y Norma Lara V. asesora quienes me han guiado para poder realizar esta investigación y concluir de la mejor manera.

Es importante también reconocer el esfuerzo realizado por los docentes que han formado parte de mi formación académica y porque no decir personal, por los conocimientos compartidos.

Agradezco infinitamente a Jhoana Londo por ser una gran amiga y estar siempre presente en las buenas y las malas.

A todas las personas que directa o indirectamente me apoyaron y colaboraron para la realización y culminación de este trabajo.

Gracias a todos ustedes por su tiempo y apoyo.

INDICE

Contenido

I. TITULO.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	1
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	36
V. RESULTADOS Y DISCUCIÓN	54
VI. CONCLUSIONES.....	66
VII. RECOMENDACIONES	68
VIII. RESUMEN	69
IX. SUMMARY	70
X. BIBLIOGRAFÍA.....	71
XI. ANEXOS.....	77

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Clasificación de la madera según el Método de Sallenave.....	18
Tabla 2. Clasificación de la madera por Clase, según MORf.....	27
Tabla 3. Número de muestras a recolectar.....	39
Tabla 4. Dimensiones de los listones para la preparación de las probetas de los ensayos físicos y mecánicos.	40
Tabla 5. Normas y dimensiones de las probetas a utilizar en los ensayos para las propiedades físicas y mecánicas.	41
Tabla 6. Dimensiones de las probetas para pruebas mecánicas.....	46
Tabla 7. Clasificación de la madera por su dureza.	53
Tabla 8. Contenido de humedad en estado verde, seco al aire y seco al horno.....	54
Tabla 9. Resultados, prueba de densidad.....	55
Tabla 10. Resultados del esfuerzo en el ensayo de resistencia a la flexión.....	57
Tabla 11. Valores promedio y clasificación, ensayo de resistencia al corte.	58
Tabla 12. Resistencia al esfuerzo y clasificación, ensayo de compresión paralela en tres estados Sa/V/Sh.	60
Tabla 13. Resistencia al esfuerzo y clasificación, ensayo de compresión perpendicular en tres estados Sa/V/Sh.	61
Tabla 14. Resultados obtenidos, prueba de resistencia a la tracción.	63
Tabla 15. Promedio de los resultados obtenidos en la prueba de Dureza Brinell.	64

LISTA DE MAPAS.

Mapa 1. Mapa de ubicación de la finca bella Sombra donde se extrajo las especies a investigar.	37
--	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Cuadro A. Límite de valores para la clasificación de especies.....	77
Anexo 2. Cuadro B. Clasificación de la madera de acuerdo a la densidad, dureza y trabajabilidad.	77
Anexo 3. Cuadro C. Clasificación de la madera de acuerdo al cizallamiento o corte.	78
Anexo 4. Cuadro D. Clasificación de la madera por la compresión paralela.	78
Anexo 5. Cuadro E Clasificación de la madera por la compresión perpendicular.....	79
Anexo 6. Cuadro F. Clasificación de la madera de acuerdo a la Dureza Brinell.	79

I. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE TRES ESPECIES FORESTALES: *Piptocoma discolor* (Kunth.) Pruski (PIGUE), *Iriartea deltoidea* Ruiz & Pav. (CHONTA) y *Pouteria glomerata* (INTACHI).

II. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales generan ecosistemas forestales constituidos a partir de la intervención humana, mediante la instalación de una o más especies forestales, nativas o introducidas, se realizan con fines de producción de madera (balsa, melina, pino, eucalipto, otras) especialmente o productos forestales diferentes a la madera. (<https://www.serfor.gob.pe/bosques-productivos/servicios-forestales/plantaciones-forestales>)

En nuestro país las especies maderables de manera general, no son usadas adecuadamente para sus diferentes requerimientos, sino que son asignados al azar, es decir, sin previo conocimiento de su uso potencial; y en otros casos las especies son desechadas y marginadas, no solo por finqueros, sino también por mercados locales y nacionales. (Paguay, 2013). La industria forestal nacional requiere contar con un conocimiento tecnológico suficiente de las especies forestales especialmente especies nativas y de esta manera aprovechar de mejor manera el recurso maderable

Las propiedades físicas y mecánicas, entre otras, han dado a la madera un campo de aplicación muy variado, especialmente como material de la construcción. La principal característica es su diferenciación individual, que hace que cada especie tenga un comportamiento distinto, en función de la cual tendrá diferentes usos. Resulta necesario conocer estas características para poder asegurar la resistencia que cada especie tendrá a las solicitaciones a las que será sometida. La clasificación físico-mecánica de las maderas es necesaria para el eficaz empleo y aprovechamiento de las mismas, siendo clasificadas previamente en grupos homogéneos en cuanto a calidad y resistencia. (Umerez, 2015)

Los usos y aplicaciones de una madera dependen en gran medida de sus propiedades físicas como contenido de humedad, densidad, contracción o hinchamiento, punto de saturación de la fibra entre otras, de las que en cada caso particular tiene exigencias específicas (Chave, 2006).

Motivo por el cual la presente investigación pretende reunir los elementos necesarios para determinar las propiedades físicas y mecánicas de cada una de las especies *Piptocoma discolor* (Kunth.) Pruski (PIGUE), *Iriarteia deltoidea* Ruiz & Pav. (CHONTA) y *Pouteria glomerata* (INTACHI). Contribuyendo a la investigación y conocimiento tecnológico de los especímenes forestales del Ecuador, de esta manera los propietarios o la industria podrían dar un mejor uso a la madera de acuerdo a las propiedades que presenten cada una de ellas.

A. JUSTIFICACIÓN

Actualmente en nuestro país, la utilización de la madera como un elemento estructural ha sido visto con incertidumbre debido a que no existen normativas ni el conocimiento especializado acerca de dicho tema, lo que hace que contadas especies forestales sean aprovechadas correctamente, al no conocer cuáles son las características físicas ni mecánicas de las especies resulta imposible destinarlas al uso más apropiado y lo que es peor aún no poder darles una aplicación industrial, es por este motivo que el presente trabajo de investigación está enfocada en realizar el estudio de las propiedades físico-mecánicas de tres especies forestales nativas pigue, chonta e intachi; especies que podrían presentar mayor o iguales bondades que las otras especies conocidas favorables para la industria, ya que es la más interesada en tener variedad de especies aptas para la comercialización.

B. OBJETIVOS

1. Objetivo General

- a. Determinar las propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales: *Piptocoma discolor* (Kunth.) Pruski (PIGUE), *Iriartea deltoidea* Ruiz & Pav. (CHONTA) y *Pouteria glomerata* (INTACHI).

2. Objetivos Específicos

- a. Comparar las propiedades físicas y mecánicas de tres especies en estado verde.
- b. Establecer tablas comparativas de las propiedades físicas y mecánicas en estado seco al aire y seco al horno de tres especies.

C. HIPÓTESIS

1. Hipótesis nula

Las propiedades físicas y mecánicas de cada especie no influyen en sus usos.

2. Hipótesis alternante

Las propiedades físicas y mecánicas de cada especie influyen en sus usos.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. GENERALIDADES

La industria forestal forma parte todas las tareas necesarias para establecer, repoblar, gestionar y proteger los bosques y aprovechar sus productos. (Poschen, 2003). En cuanto a la industria forestal maderera ecuatoriana se ha desarrollado de manera desigual. Mientras la industria de tableros contrachapados ha alcanzado un nivel tecnológico alto por lo se considera como una de las mejores de Latinoamérica; la industria del aserrío en contraposición, ha retrocedido de la producción con sierra circular o de montaña, a la motosierra operada a pulso. Los demás segmentos industriales madereros han alcanzado varios niveles tecnológicos dependiendo del tamaño de la empresa y el tipo de mercado de sus productos.

El segmento industrial de tableros es la más importante por ser el segmento grande considerado como la gran industria maderera del país, y es la que mayormente se ha preocupado de generar su propio patrimonio forestal (bosque nativo y plantado) para asegurarse su continuación en el tiempo. Las industrias de este segmento productivo están relacionadas directamente con el bosque nativo y plantado; por lo que conocen y aplican las normativas forestales para el aprovechamiento de madera. (Vásquez , 2000)

B. DESCRIPCION BOTANICA DE LAS ESPECIES A INVESTIGAR

1. Piptocoma discolor (Kunth.) Pruski (PIGUE)

a. Aspectos generales

Árbol hasta 25 m de altura y 55 cm de DAP; corteza fuertemente fisurada, morena, cambiando a negra hacia el interior, y hacia la albura crema, aunque este color se oxida violentamente a verde-negruzco.

b. Hojas

Presenta hojas helicoidales membranáceas, verdes por arriba y homogéneamente pardas por el envés, este aspecto del color da fe de su epíteto botánico.

c. Inflorescencia

Una cima ancha compuesta de numerosos capítulos.

d. Flores

Son pequeñas, de 7-9 mm de longitud, hermafroditas, con cáliz y corola presentes, el cáliz de 1-2 mm de longitud, cupuliforme, 5-dentado, la corola de 5-6 mm de longitud, tubular, 5-dentada, los estambres 5, epipétalos cerca del ápice de la corola; gineceo con ovario ínfero, unilocular.

e. Frutos

Pequeños aquenios de unos 2 mm de longitud, de color pajizo, rodeados por las escamas florales persistentes.

f. Distribución y hábitat

Amazonia Andina, Bosques secundarios, a menudo formando rodales puros, especialmente entre 700 y 1200 msnm, en potreros o chacras abandonados. Se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante.

Es una especie con tendencia heliófita y de crecimiento rápido, presente en bosques secundarios tempranos y tardíos, en suelos arcillosos a limosos, fértiles, bien drenados, con pedregosidad baja a media (Palacios, 2011).

2. Pouteria glomerata (INTACHI)

a. Aspectos generales

Árbol hasta 30 m de altura y 65 cm de DAP sin raíces tablares o poco desarrolladas.

b. Hojas

Opuestas, decusadas, obovadas, coriáceas, 10-17 x 6-9 cm, lisas por el haz, envés con mechones de pelos en las axilas de los nervios secundarios, ápice y base agudos; estípula terminal cónica-retorcida, dejando una cicatriz anular justo arriba de la inserción de los pecíolos.

c. Flores

Color blanquecino de 4-6 mm de largo. Cápsulas bivalvadas, dehiscentes, ovoides, 2 mm de largo; semillas diminutas, aladas. Inflorescencia una cima o corimbo.

d. Corteza.

Es externa fisurada, crema-parda, con tejido muerto suave, fácilmente desprendible con los dedos; corteza interna crema a crema-amarillenta, libre de la albura.

e. Ramas

Ramitas terminales opuestas-decusadas.

f. Distribución y hábitat

RAE (Región Amazónica Ecuatoriana) < 1000 msnm en suelos con buen drenaje, en bosque primario o en bosques degradados a veces, creciendo sobre sitios con escaso o ningún suelo.

Hay al menos dos especies más de *Chimarrhis* en la RAE: *C. gentryana* Delprete y *C. hookeri* K. Schum. La primera tiene hojas mucho más anchas, pecíolos cortos y frutos de 4-5 mm de largo; mientras que *C. hookeri*, tiene hojas de entre 8-12 x 4-6 cm, inflorescencia más corta, aunque con pubescencia similar.

g. Usos

Parquet, construcción de casas, pisos (Palacios, 2011).

3. Iriartea deltoidea Ruiz & Pav. (CHONTA)

a. Aspectos generales

Tronco con un cono radicular de hasta 1.5 -2 m de alto y hasta 100 raíces cilíndricas, están cubiertas con protuberancias de ápice redondeado (no puntiagudas), de 2-3 mm de largo.

El número de raíces es creciente por incorporación de nuevas raíces con aspecto de pene. Arriba de la mitad del tronco, a menudo (sobre todo en la Costa ecuatoriana) con una hinchazón o engrosamiento.

b. Hojas

Hasta 3 m de largo. Pinnas de forma triangular, desordenadas sobre el raquis, dando el aspecto de un “gran cepillo de pelo”.

c. Inflorescencia

En botón cubierta por una bráctea de hasta 1.5 m de largo; ésta péndula y curvada hacia abajo dando el aspecto de un enorme cuerno. Al desprenderse la bráctea deja al descubierto una inflorescencia de 80 cm de largo con numerosas ramificaciones.

d. Fruto

Drupa globosa de aspecto liso, 2-2.5 cm de diámetro; semillas ásperas.

e. Distribución y hábitat

Bosques húmedos, en la Amazonía y Costa, por debajo de 1200 msnm, abundante en bosques de colinas, con hasta 100 individuos adultos por hectárea.

f. Usos

El tronco se usa para construcción de casas, también se fabrica muebles y parquet. El palmito es comido en algunas localidades. NC: *patihua* (Ki); *pambil* (RAE), *chonta* o *barrigona* (Costa). (Palacios, 2011).

C. LA MADERA

Es un material heterogéneo y anisotrópico, con propiedades muy diferentes de acuerdo a la dirección considerada. El estudio de su anatomía tiene gran influencia en la tecnología y la industria, ya que es un material poroso y está conformado por más de un tipo de células por lo que tiene una constitución heterogénea (Arroyo, et al., 2014).

De todos los materiales usados por el ser humano a lo largo de la historia, la madera fue uno de los primeros materiales utilizados para construcción de viviendas, herramientas para cazar, utensilios, entre otros. Más tarde fue uno de los materiales predilectos para la construcción de palacios, templos y casas desde el siglo XX a. C. y hasta el siglo XIV d. C.; donde al descubrirse nuevas técnicas y materiales para la construcción, tales como el hormigón armado, el hierro, el cristal, el cartón, la fibra textil y todos los sustitutos de la madera, disminuyeron en gran medida el uso de ésta (Cruz de León, 2011).

Actualmente el uso de la madera puede ser de vital importancia debido a que se utiliza relativamente poca energía para producirla, lo que contribuye a la conservación del medio ambiente. Sin embargo, para poder proporcionarle un buen y correcto uso es necesario conocer sus características y propiedades (Cruz de León, 2011), sucede lo contrario cuando la obtención de madera es ilegal dando lugar a graves problemas medioambientales, porque si no se realiza la tala con conciencia, puede producirse una sobreexplotación que genera deforestación, pérdida de bosques sean primarios o secundarios e incluso desertificación y erosión de los suelos (Villalba, 2010).

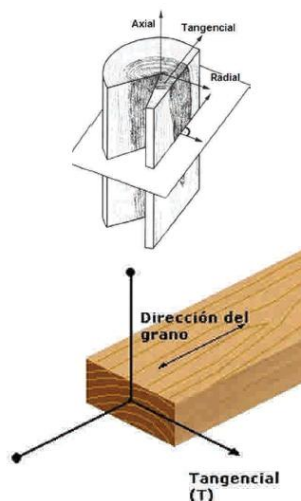
La madera es un recurso renovable, abundante, orgánico, económico y con el cual es muy fácil de trabajar. Independientemente de la especie, la madera puede ser considerada como un material biológico, anisotrópico e higroscópico.

- Es un material biológico, debido a que está compuesto principalmente por moléculas de celulosa y lignina. Siendo madera elaborada, puede ser biodegradada por el ataque de hongos e insectos taladradores, como son las termitas. Por ello, a diferencia de otros materiales inorgánicos (ladrillo, acero y hormigón, entre otros), la madera debe tener una serie de consideraciones de orden técnico que garanticen su durabilidad en el tiempo.
- Es anisotrópico. Según sea el plano o dirección que se considere respecto a la dirección longitudinal de sus fibras y anillos de crecimiento, el comportamiento tanto físico como mecánico del material, presenta resultados dispares y diferenciados. Para tener una idea de cómo se comporta, la madera resiste entre 20 y 200 veces más en el sentido del eje del árbol, que en el sentido transversal (CORMA, 2007).

Debido a este comportamiento estructural tan desigual, se ha hecho necesario establecer:

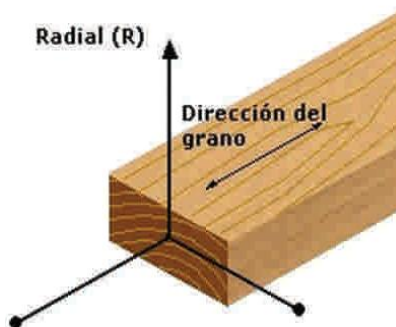
- Eje tangencial
- Eje radial y
- Eje axial o longitudinal

El eje tangencial, como su nombre lo indica, es tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular al eje longitudinal de la pieza.



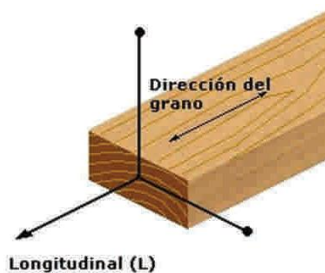
Fuente: (CORMA, 2007).

El eje radial es perpendicular a los anillos de crecimiento y al eje longitudinal.



Fuente: (CORMA, 2007)

El eje longitudinal es paralelo a la dirección de las fibras y por ende, al eje longitudinal del tronco. Forma una perpendicular respecto al plano formado por los ejes tangencial y radial.



Fuente: (CORMA, 2007)

La madera es un material higroscópico. Tiene la capacidad de captar y ceder humedad en su medio, proceso que depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente. Este comportamiento es el que determina y provoca cambios dimensionales y deformaciones en la madera (CORMA, 2007).

D. SECADO DE LA MADERA

La velocidad con que la madera gana o pierde humedad en el proceso de secado es en función de la permeabilidad, lo que dependerá del tipo de recubrimiento superficial y del peso específico aparente de la madera; son más permeables las maderas livianas que las pesadas (Gómez & Moya Roque, 2012).

E. SECADO NATURAL O AL AIRE

Se efectúa simplemente encastillando la madera bajo cubiertas protectoras contra el sol directo, permitiendo la circulación de aire en forma expedita y, según las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente, el secado de la madera. Tiene la desventaja de ser un proceso lento y poco efectivo.

Los principales factores que influyen en un buen secado al aire son:

- Disponer de una cancha o patio que permita exponer la madera al aire, y que el encastillado sea efectuado de modo que el aire circule envolviendo cada una de las piezas de madera.

- El mejor sistema de encastillamiento para un secado rápido con el mínimo de agrietamiento y torceduras, es el apilado plano (CORMA, 2007).

1. Sistemas de apilado - tiempos

Secado natural o Estacionamiento: “Es la pérdida natural de la humedad, mediante la evaporación del agua, merced a la temperatura, humedad y circulación del aire del medio ambiente”.

Presenta, comparado con el secado artificial, las siguientes ventajas e inconvenientes:

- Reducido monto de inversión
- Escasos gastos de mantenimiento y funcionamiento.
- No requiere personal capacitado.
- Plazos de secado prolongados (aproximadamente 3 meses por pulgada de espesor, según zona del país; aunque en la Facultad de Ciencias Agrarias de Cuyo se ha secado en verano en 1 mes, con 1 pulgada de espesor).
- Mayores costos financieros por capital inmovilizado.
- No se puede secar madera por debajo del equilibrio higroscópico correspondiente al lugar.
- No se pueden corregir defectos que aparecen durante el secado. (Pérez Ortega, 2014)

F. SECADO ARTIFICIAL

Consiste en secar la madera en cámaras especiales (hornos), en los cuales se manejan variables de presión, humedad y temperatura (80 a 90 °C). Este proceso tiene la ventaja de ser rápido, además de establecer el grado de humedad deseado (CORMA, 2007)

Es otro método de secado poco usado en nuestro medio, debido al costo inicial que implica la construcción del horno. El horno de secado de madera, es un ambiente rectangular cuyo tamaño varía de acuerdo al volumen de madera a secar. En él, la madera recibe calor en forma indirecta a través de aire caliente, que es forzado a circular a través de la madera mediante ventiladores.

El aire caliente absorbe la humedad de la superficie de la madera y la arrastra hasta las salidas, por donde desfoga el aire húmedo. El aire una vez que ha perdido la humedad, circula nuevamente a través de las pilas de madera, formando una corriente de aire continua, que va secando la madera. Este sistema permite secar los tablones de madera en menos tiempo que el requerido al aire libre (Pérez, et al., 2007)

G. PROPIEDADES DE LA MADERA

Es de vital importancia estudiar las propiedades de la madera con objeto de comprender de una manera más efectiva su comportamiento. Se debe tener en cuenta que las características de la madera varían según las diferentes especies, el desarrollo del árbol y la sección de la cual se extrajo (Pérez Ortega, 2014), dentro de las propiedades tecnológicas de la madera, las físicas y mecánicas son las más importantes, pues se utilizan como indicadores para evaluar si las características o calidad de una madera son las más adecuadas para un uso particular (Barcéas Pazos, et al., 2014).

1. Propiedades físicas

Son aquellas que determinan su comportamiento ante los distintos factores que intervienen en el medio ambiente normal, sin producir ninguna modificación química o mecánica de su estructura (Pérez Ortega, 2014).

a. Contenido de humedad

La humedad de la madera cambia más lentamente y con cierto retraso de lo que cabría esperar respecto a las condiciones meteorológicas; este fenómeno se denomina inercia higroscópica. Las diferenciaciones de humedad en la madera no sólo influyen en las hinchazones y mermas, también interfieren en su peso, resistencia, dificultad de corte, aserrado y acabado así como en la fluencia y deformabilidad de las piezas, a medida que se reduce el grado de humedad se incrementan las propiedades mecánicas, (Gómez & Moya Roque, 2012) por el contrario si el

contenido de humedad de la madera se incrementa, el módulo de elasticidad decrece. Este fenómeno es de efecto momentáneo y temporal. Es decir, cuando la madera recobra su contenido de humedad inicial, el valor del módulo de elasticidad se recupera. Este síntoma se verifica principalmente en el dominio higroscópico de la madera, que va de su estado anhidro al 32% en su contenido de humedad.

La madera por ser un material termoelástico cuando la temperatura interna aumenta, su módulo de elasticidad disminuye. Esta manifestación tiene un carácter instantáneo y temporal. Es decir, si la madera recobra su temperatura inicial, el módulo de elasticidad recupera su valor anterior. Este hecho se observa preferentemente en un rango de temperaturas de 0 a 120°C. Es por esto que el efecto combinado en la madera de los parámetros temperatura y contenido de humedad se relaciona de tal forma, que al incrementar la temperatura puede ocasionar una disminución en el contenido de humedad, pero no viceversa (Sotomayor & Olguín, 2014).

El contenido de humedad de la madera en uso debe estar entre 10 y 15%, así no sufrirá deterioro, especialmente a causa de agentes bióticos. La madera por ser higroscópica es que varía su contenido de humedad dependiendo del aumento o disminución de temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento. La cantidad relativa y absoluta de pared celular, el agua fija, agua libre y los extraíbles tienen una relación directa con las propiedades físicas y mecánicas de la madera (Cruz de León, 2011).

“Se define como el peso de la cantidad de agua presente en una pieza de madera, expresado en función del peso de la pieza en condición seca o anhidra” (Martínez & Pérez Cuba, 2015).

b. Densidad

Es importante conocer la densidad, ya que de ella depende en gran parte el comportamiento de la madera, su adaptabilidad a eventuales tratamientos y modificaciones, así como la posibilidad de utilización que ofrece. (Igartua, et al., 2009). La densidad es el cociente entre la masa y el

volumen de la madera, la cual varía con la humedad es decir, cuando la humedad crece, la densidad también crece (Stefani, et al., 2016).

La densidad de la madera varía dentro de la planta, durante la vida de la misma y entre individuos de la misma especie. Además, las ramas y las partes exteriores del tronco tienden a presentar densidades de madera más bajas que la médula del tronco (Chave, 2006), esta propiedad es considerada como uno de los mejores indicadores de resistencia, tasas de contracción, capacidad aislante de la madera, etc. (Da Silva, et al., 2009).

La densidad de la madera se la considera como una de las propiedades físicas más importantes debido a la relación que tienen con otras propiedades y con la utilización de la misma. En general, mayores valores de densidad se encuentran asociados a mayores resistencias mecánicas y mayores valores energéticos; esto debido a que están relacionados directamente con el contenido de celulosa (Leòn, 2010).

La norma chilena NCh 176/2 Of 1986 Mod. 1988 Madera - Parte 2: Determinación de la densidad, establece las siguientes densidades de la madera, determinadas a partir del contenido de humedad de la pieza (CORMA, 2007).

Para fines de protección, las maderas más densas son más difíciles y lentas de impregnar; las maderas menos densas son más fáciles y rápidas de impregnar (Cruz de León, 2011).

A continuación se menciona cuatro tipos de densidades:

- **Densidad Anhidra:** Relaciona la masa y el volumen de la madera anhidra (completamente seca).
- **Densidad Normal:** Aquella que relaciona la masa y el volumen de la madera con un contenido de humedad del 12%.

- **Densidad Básica:** Relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen con humedad igual o superior al 30%. La densidad básica de la madera es una característica hereditaria, que también es afectada por prácticas silvícolas. El valor de la densidad básica se ha aplicado para evaluar algunos de los valores de resistencia mecánica, como módulo de elasticidad, de ruptura en flexión y el esfuerzo al límite proporcional en compresión perpendicular, altamente relacionados con la densidad básica (Barcéas Pazos, et al., 2014).
- **Densidad Nominal:** Es la que relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen con un contenido de humedad del 12%.
- **Densidad de Referencia:** Aquella que relaciona la masa y el volumen de la madera ambos con igual contenido de humedad.

Sallenave utiliza la densidad normal o aparente al 12% de contenido de humedad, existiendo las siguientes clases: (Díaz Méndez, 2005).

Tabla 1. Clasificación de la madera según el Método de Sallenave.

Densidad Normal en gr/cm³		
Clase	Coníferas	Latifoliadas
Muy livianas	< 0,400	< 0,500
Livianas	0,400 - 0,499	0,500 - 0,649
Semi-pesadas	0,500 - 0,599	0,650 - 0,799
Pesadas	0,600 - 0,700	0,800 - 0,950
Muy pesadas	> 0,700	> 0,950

Fuente: (Campos, et al., 1990)

- **Medición de la densidad**

Resulta de medir la masa y el volumen de la madera mediante métodos muy fáciles. La medición directa de la masa y el volumen de madera, se realizan pesando la madera en una balanza con una precisión de 0,1 g y luego medir el espesor, ancho y largo de la pieza, para poder calcular así su volumen.

Cuando la madera no presenta una forma regular, se recomienda medir el volumen por inmersión en agua. Una forma muy sencilla de medir el volumen según este método, está basado en el principio de Arquímedes, es decir: pesar un recipiente con agua, se sumerge la probeta completamente y se vuelve a pesar el recipiente con la madera sumergida en él.

La diferencia de peso es igual al volumen de la muestra de madera, ya que se asume que la densidad del agua es igual a 1 g/cm³. Si se desea determinar el volumen por inmersión en agua para estimar la densidad de referencia a 12 % de humedad, la norma sugiere impermeabilizar previamente la muestra de madera con parafina sólida caliente, o usar un fluido de densidad conocida y que no presente afinidad con la madera, como la inmersión mercurio. Si se desea determinar la densidad básica de la madera, se debe saturar con agua la muestra de madera, luego medir el volumen por inmersión o por medición directa y posteriormente secar en una estufa a 103 °C por 24 horas para obtener la masa anhidra de la muestra de madera (Paguay, 2013).

- c. **Contracción e Hinchamiento**

La variación del contenido de humedad produce en la madera una variación de sus dimensiones. Cuando aumenta dicho contenido se hincha, mientras que cuando disminuye se contrae o merma. Estos movimientos únicamente tienen lugar cuando su contenido de humedad se encuentra por debajo del punto de saturación de las fibras (aproximadamente cuando tienen una humedad del 30%), a partir del 30% sólo se produce un aumento de peso y su volumen permanece prácticamente constante.

Debido a su anisotropía, las variaciones dimensionales no serán las mismas en las direcciones axial, radial y tangencial. Estas contracciones o mermas modifican también como es natural su volumen. Para evaluarlas se han definido los coeficientes de contracción: contracción volumétrica total, contracción tangencial y contracción radial.

La diferencia entre la contracción radial y la tangencial es la causa por la que se deforman las maderas durante el proceso de secado. La contracción lineal se define como el cociente entre la diferencia de dimensiones lineales de un estado a otro de menor humedad y la dimensión en estado saturado. El hinchamiento lineal relaciona la diferencia de dimensiones lineales de un estado a otro de mayor humedad con la misma dimensión en estado anhidro (Cardoso, et al., 2013).

Para la determinación de los valores de contracción e hinchamiento de la madera se utilizan las dimensiones en sentido radial y tangencial de las probetas. Se calculan valores para cada uno de los estados de equilibrio en los procesos de desorción y sorción (Ananias, et al., 2008).

La variación dimensional en el sentido longitudinal para la contracción y el hinchamiento se considera despreciable (Charria, et al., 2014).

El peso específico y las contracciones, son propiedades que tiene influencia directa en todos los aspectos de trabajo de la madera, ya que si sus valores son altos o bajos las propiedades también serán altas o bajas así como los grados de deformación (Cardoso, et al., 2013).

d. Polaridad

La madera es un material de carácter polar, es decir, tiene afinidad con los productos polares entre los que se incluye el agua (Pérez Ortega, 2014).

e. Hendibilidad

Conocida también como facilidad a la raja y es la aptitud de las maderas a dividirse en el sentido longitudinal bajo la acción de una cuña. El rajado es más fácil, en sentido de los radios (Patiño Rocha, 2014).

Es la facilidad con que se abren las fibras de la madera en sentido longitudinal. Se resquebrajan peor las maderas duras, las secas, las resinosas y con nudos. La madera hendible es poco apta para el clavado y para realizar encajes. Si el secado es brusco la madera tiende a abrirse. (Villalba, 2010)

f. Conductibilidad

La madera es un excelente aislante térmico (casas de madera en países fríos, por ejemplo). Las maderas ricas en agua son mejores conductores que las secas. La madera seca es mala conductora del calor y electricidad, no así cuando está húmeda. La conductividad es mayor en el sentido longitudinal que en radial o transversal, y más en las maderas pesadas que en las ligeras o porosas, por lo cual se emplean como aisladores térmicos en los pavimentos y paredes (Villalba, 2010).

Esta propiedad depende en la madera, especialmente de su contenido de humedad. La madera seca tiene una resistencia eléctrica muy alta, que prácticamente no puede correr electricidad. La conductibilidad aumenta conforme sube el contenido de agua de constitución, hasta llegar al punto de saturación de la fibra (Igartua, et al., 2009).

g. Durabilidad

La duración de la madera varía mucho con la clase y medio. A la intemperie, y sin impregnar depende de las alternativas de sequedad y humedad.; Aquellas maderas desarrolladas en terrenos húmedos tienen la capacidad de durar largo tiempo sumergidas en agua, pero expuestas al aire se pudren agrietar con facilidad; en general, las maderas blandas duran menos que las duras.

Citando algunos ejemplos: el roble dura cien años; álamo, sesenta a noventa años; pino, alerce, cuarenta a ochenta años; sauce dura treinta años (Igartua, et al., 2009).

h. Dilatación

La madera cambia de volumen según la humedad que contiene. Cuando pierde agua, se contrae o merma, siendo mínima en la dirección axial o de las fibras, no pasa del 0.8 por ciento; de 1 a 7.8 por ciento, en dirección radial, y de 5 a 11.5 por ciento, en la tangencial.

Los coeficientes de dilatación de la madera dependen de la dirección de las fibras, siendo los coeficientes transversales alrededor de un orden de magnitud más grandes que los coeficientes longitudinales (Paguay, 2013).

i. Temperatura

El incremento de la temperatura provoca un aumento de la deformación disminuyendo la cohesión en el material. Las resistencias estáticas disminuyen cuando la temperatura cambia de valores negativos a positivos. Para las resistencias dinámicas los cambios que se producen son irregulares y dependientes de la densidad y el contenido de humedad de la madera ensayada (Díaz Méndez, 2005).

j. Higrscopicidad

Es la capacidad de la madera para absorber la humedad del medio ambiente. Dependiendo del tipo de madera y de su punto de saturación el exceso de humedad produce hinchazón. La merma de humedad durante el secado de la madera contrae las fibras de manera diferente en las tres direcciones (Fernández Golfín, et al., 2014).

1. Propiedades mecánicas

La madera, cuerpo sólido, poroso y heterogéneo, tiene la capacidad de resistir a solicitaciones externas, que tienden a deformarla o alterar sus dimensiones (Fernández Golfín, et al., 2014).

Las propiedades mecánicas de la madera determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas o solicitaciones externas. Se entiende por fuerza externa, a cualquier solicitación que, actuando exteriormente, altere su tamaño, dimensión o la deforme (Igartua, et al., 2009)

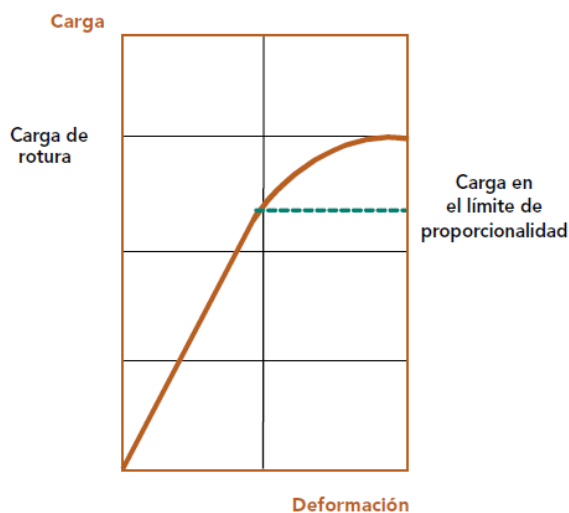
Las propiedades mecánicas son las que determinan la capacidad que tienen los materiales de resistir fuerzas externas, con lo cual se puede controlar las formas más adecuadas (López, 2014).

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera se obtiene a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida. El esfuerzo que soporta un cuerpo por unidad de superficie es la llamada tensión unitaria.

Cuando la carga aplicada a un cuerpo aumenta, se produce una deformación que se incrementa paulatinamente. Esta relación entre la carga aplicada y la deformación que sufre un cuerpo se puede representar gráficamente por una recta, hasta el punto donde se inicia el límite elástico del material ensayado, si se sigue aumentando la carga, se logra la rotura del material (Stefani, et al., 2016).

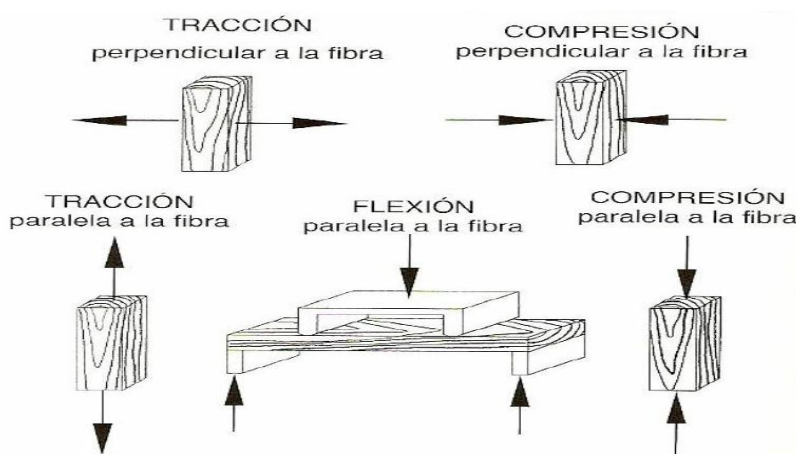
La rigidez de un cuerpo se define como la propiedad o capacidad que tiene para resistir la deformación al ser solicitado por fuerzas externas. La medida de rigidez de la madera se conoce como módulo de elasticidad o coeficiente de elasticidad, calculado por la razón entre esfuerzo por unidad de superficie y deformación por unidad de longitud, cuando la carga resulta mayor a la del límite elástico, la pieza continúa deformándose hasta llegar a colapsar, obteniendo la tensión de rotura de la pieza de madera.

El límite elástico se define como el esfuerzo por unidad de área de la superficie, en que la deformación crece en mayor proporción que la carga que se aplica, el esfuerzo necesario para solicitar un material hasta llegar al límite elástico, determina la tensión en el límite de proporcionalidad, que es la carga máxima a la cual se puede someter sin que se produzcan deformaciones permanentes (Fritz, 2004).



Fuente: (CORMA, 2007)

Las diferentes sollicitaciones a que puede estar sometida la madera son las siguientes: Flexión estática, compresión, tracción, dureza, cizalle, trabajabilidad.

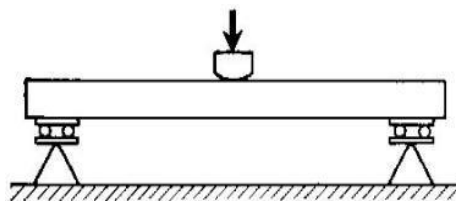


Fuente: (Stefani, et al., 2016)

a. Flexión estática

Los esfuerzos en flexión se producen en cuerpos de gran longitud respecto a las dimensiones de su sección transversal, cuando estos son sometidos a la acción de cargas transversal es o normales de su eje longitudinal, de tal manera que tiendan a producir una curvatura del elemento. Un caso típico es el de la viga.

El ensayo de flexión estática mide la resistencia que opone una viga a una carga puntual aplicada en el centro de la luz o distancia entre apoyos, aplicada en la cara radial de la probeta (Díaz Méndez, 2005).

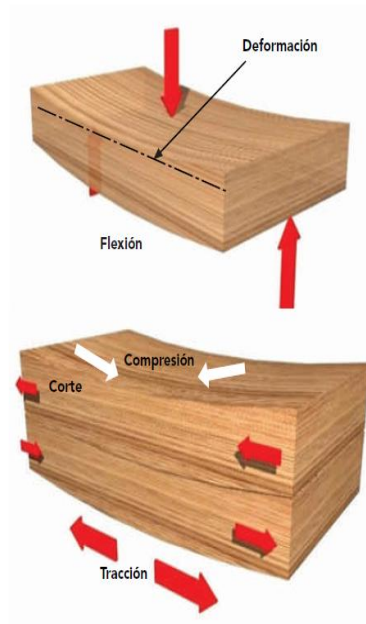


Fuente: (Díaz Méndez, 2005)

La flexión es una combinación de tres esfuerzos, tracción, compresión y cizalle (Cuevas, 2003). Estas causan la curvatura o deformación del cuerpo, con la parte superior cóncava (en compresión), la inferior convexa (en tracción) y el plano neutro tendiendo a resbalar entre las dos fuerzas opuestas (en cizalle) (Igartua, et al., 2009).

El plano donde se produce la inversión del sentido del esfuerzo, se denomina plano neutro y su traza sobre la sección transversal se denomina eje neutro (el esfuerzo de flexión es nulo). Además en la cara inferior de la viga se aprecia los esfuerzos máximo en tracción y en la cara superior el esfuerzo máximo en compresión (Igartua, et al., 2009).

La flexión estática Es la resistencia de la viga a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad, tensión de rotura y el módulo de elasticidad.



Fuente: (CORMA, 2007)

Los ensayos de laboratorio indican que se obtienen varios valores que los definen así:

- **Esfuerzo de las fibras al límite proporcional**

Esfuerzo que se produce en las fibras de una viga sometida a tensión y compresión hasta la carga al límite proporcional, es decir hasta cuando deja de existir una correlación lineal entre el esfuerzo y la deformación. También se define como el esfuerzo máximo a la compresión que es menos variable y más fácil de obtenerlo.

- **Módulo de ruptura**

Es el esfuerzo mayoritario máximo provocado en una probeta de madera en el momento de su rotura. Es el máximo esfuerzo de la fibra en flexión calculado a partir del momento máximo de flexión sobre la base de distribución del esfuerzo asumido (Nalvarte, et al., 2013).

Para clasificar la madera, se usará el módulo de ruptura (MORf). Es posible definir las siguientes clases:

Tabla 2. Clasificación de la madera por Clase, según MORf.

Clase	MORf (Kg/cm ²)
Pequeña	< 784
Mediana	784 1283
Grande	> 1283

Fuente: (Campos, et al., 1990)

- **Módulo de elasticidad**

Es la relación entre el esfuerzo por unidad de superficie sobre la deformación por unidad de longitud, constituyendo una medida de rigidez o flexibilidad de la madera. Cuanto más alto sea su valor mayor será su rigidez. Es el valor numérico de la relación constante del esfuerzo unitario a la deformación unitaria dentro del campo de las deformaciones elásticas. Mide el valor de la deformación (Nalvarte, et al., 2013).

- **Ley de Hooke. Módulo de Elasticidad**

La ley de Hooke establece que el “esfuerzo es proporcional a la deformación, hasta un determinado valor de la carga”. Esto se cumple sólo hasta el límite elástico o de proporcionalidad, es decir, corresponde a la línea recta de la figura anterior, si se sigue agregando carga la ley de Hooke ya no es válida (Igartua, et al., 2009).

El módulo de elasticidad, es una medida de la rigidez de un material. Es aquella propiedad de la materia que le permite resistir una fuerza que tiende a cambiar su forma o volumen y que es responsable de la recuperación de su forma o volumen original cuando dicha fuerza deja de actuar. Cabe recalcar la importancia de considerar los conceptos de Rigidez y Elasticidad. Rigidez es la característica de un cuerpo que solicitado por cargas externas mantiene su tamaño

y su forma natural o resiste a la deformación. Por el contrario, elasticidad es la peculiaridad de ciertos materiales sólidos, los cuales admiten deformaciones mientras perdure la sollicitación externa (Paguay, 2013).

Cabe señalar que el módulo de elasticidad no es una medida de resistencia y solo se aplica a condiciones dentro del límite de proporcionalidad, y se expresa en las mismas unidades que el esfuerzo unitario, ya que ε es adimensional y el MOE, toma las unidades de σ , es decir, kg/cm^2 (Igartua, et al., 2009).

b. Cizallamiento o corte

Es el esfuerzo que oponen las moléculas de una pieza a la acción de las fuerzas paralelas que tienden a cortar la sección transversal de la madera. (Carrillo, 1989). Los esfuerzos de cizallamiento tienen lugar en mayor grado, o menor grado en casi todos los usos de la madera y se clasifican de acuerdo a la dirección en que la fuerza actúa respecto a los planos estructurales de la madera. Es la capacidad de la madera para resistir la acción de las fuerzas paralelas y opuestas que tienden a producir deslizamiento de unas fibras con relación a otras.

Es la propiedad de un material de resistir a esfuerzos que tienden a seccionarlos en determinado plano por ejemplo en la dirección paralela a las fibras. Es la resistencia que ofrece la madera a fuerzas paralelas de sentido opuesto que tiende a causar que una porción de ella se mueva con respecto a la otra; el esfuerzo de corte es resistido básicamente por la sustancia cementante, es decir, la lignina (Nalvarte, et al., 2013).

En elementos constructivos el esfuerzo por corte o cizallamiento se presenta cuando las piezas están sometidas a flexión (corte por flexión). Los análisis teóricos de esfuerzos indican que en un punto dado los esfuerzos de corte son iguales tanto a lo largo como perpendicularmente al eje del elemento, como la madera no es homogénea, sino que sus fibras se orientan por lo general con el eje longitudinal de las piezas, presentan distinta resistencia al corte de estas dos direcciones.

La menor es aquella paralela a las fibras y que proviene de la capacidad del Cementante de las fibras la lignina a este esfuerzo. Perpendicularmente a las fibras la resistencia es de 3 a 4 veces mayor que en la dirección paralela (Zavala, 1992).

Es la medida de la capacidad de la pieza para resistir fuerzas que tienden a causar deslizamiento de una parte de la pieza sobre otra.

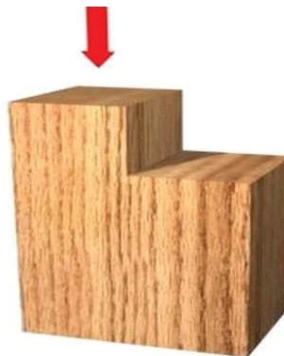


Fuente: (CORMA, 2007).

Según la dirección de las fuerzas que la producen se pueden clasificar en:

- **Cizalle paralelo tangencial**

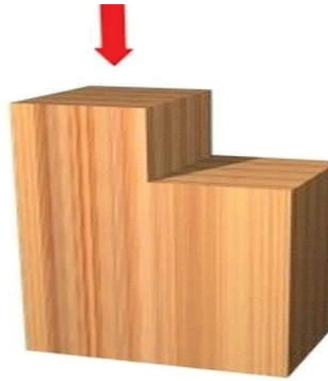
La sollicitación es paralela a las fibras y produce un plano de falla, tangente a los anillos de crecimiento.



Fuente: (CORMA, 2007)

- **Cizalle paralelo radial**

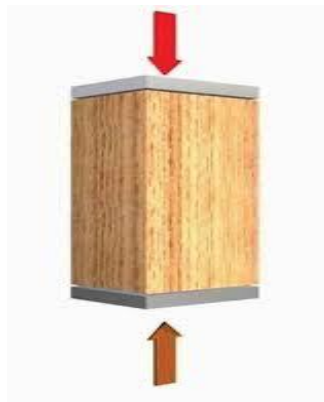
La sollicitación es paralela a las fibras y produce un plano de falla perpendicular a los anillos de crecimiento (CORMA, 2007).



Fuente: (CORMA, 2007)

c. Resistencia a la compresión paralela

Es la resistencia de la madera a una carga en dirección paralela a las fibras, la que se realiza en columnas cortas para determinar la tensión de rotura, tensión en el límite de proporcionalidad y módulo de elasticidad (CORMA, 2007).



Fuente: (CORMA, 2007).

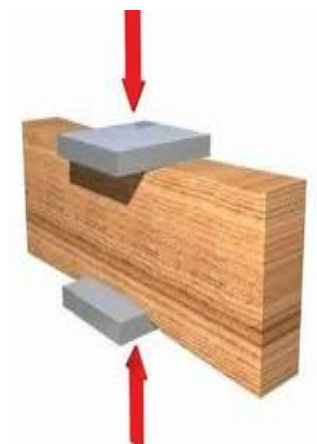
Los elementos que están sujetos a esta propiedad son, por ejemplo, las columnas de puertas, balcones y terrazas. Por el efecto de las lluvias se deterioran las partes inferiores, especialmente por hongos que producen manchas grises, así como por la acción de insectos.

Al presentar daño severo, las columnas van cediendo y aplastándose, por lo que las cubiertas y techos también ceden. El método más adecuado de preservación para columnas debe ser por presión y vacío, seguido de inmersión prolongada por 72 horas (Cruz de León, 2011).

La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras, esta proviene del hecho de que las fibras están orientadas en su eje longitudinal en esa dirección y que a su vez coincide, o está muy cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular. La resistencia a la compresión paralela es aproximadamente la mitad de su resistencia a la tracción (Nalvarte, et al., 2013).

d. Resistencia a la compresión perpendicular

Es la resistencia de la madera a una carga en dirección normal a las fibras, aplicada en una cara radial, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad y tensión máxima (CORMA, 2007).



Fuente: (CORMA, 2007)

Los elementos que están sujetos a esta propiedad son entre otros, travesaños de puertas y las partes de vigas de madera que están en contacto con el muro. La compresión perpendicular aumenta debido al efecto de la degradación de la madera por el ataque de hongos (Cruz de León, 2011).

Bajo este tipo de carga las fibras están sometidas a un esfuerzo perpendicular a su eje y que tiende a comprimir las pequeñas cavidades contenidas en ellas esto permite que se pueda cargar la madera sin que ocurra una falla claramente distinguible. Al incrementarse la magnitud de la carga la pieza se va comprimiendo (aplastando los pequeños cilindros que se asemejan las fibras), aumentando su densidad y también su misma capacidad para resistir mayor carga. La resistencia está caracterizada por el esfuerzo al límite proporcional. Este varía entre 1/4 a 1/5 del esfuerzo al límite proporcional en compresión paralela (Nalvarte, et al., 2013).

e. Tracción

La madera es un material muy indicado para trabajar a tracción (en la dirección de las fibras), viéndose limitado su uso únicamente por la dificultad de transmitir estos esfuerzos a las piezas. Esto significa que en las piezas sometidas a tracción los problemas aparecerán en las uniones. Si se realiza un esfuerzo de tracción en la dirección axial, la magnitud de la deformación producida será menor que si el esfuerzo es de compresión, sobre todo en lo que concierne a las deformaciones plásticas. Es decir que la rotura de la madera por tracción se puede considerar como una rotura frágil. La resistencia a la tracción de la madera presenta valores elevados. La resistencia de la madera a la tracción en la dirección de las fibras, se debe a las moléculas de celulosa que constituye, en parte, la pared celular (Stefani, et al., 2016).

- **Tracción paralela a las fibras**

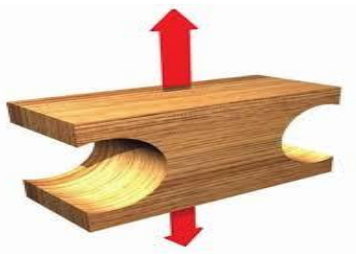
Es la resistencia a una carga de tracción en dirección paralela a las fibras.



Fuente: (CORMA, 2007)

- **Tracción normal a las fibras**

Es la resistencia a una carga de tracción en dirección paralela a las fibras. Según la posición del plano de falla con respecto a los anillos de crecimiento, se puede distinguir la tracción normal tangencial y la tracción normal radial (CORMA, 2007).



Fuente: (CORMA, 2007).

f. Dureza

La dureza de la madera es la resistencia que opone al desgaste, rayado, clavado, etc. Depende de su densidad, edad, estructura y si se trabaja en sentido de sus fibras o en el perpendicular. Cuánto más vieja y dura sea, mayor la resistencia que opone. La madera de duramen tiene mayor resistencia que la de albura: la crecida lentamente obtiene una mayor resistencia que la madera que crece de prisa (Nalvarte, et al., 2013).

La resistencia al desgaste, rayado, clavado, corte con herramientas, etc., varía según la especie del árbol. La madera del duramen es más dura que la de la albura. La madera seca es más dura que la verde.

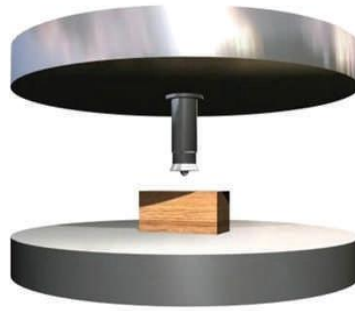
Según su dureza, la madera se clasifica en:

- **Maderas duras:** son aquellas que proceden de árboles de un crecimiento lento, de hoja caduca, por lo que son más densas.
- **Maderas blandas:** las maderas de coníferas son más livianas y menos densas que las duras
- **Maderas semiduras:** Muchas maderas no se las puede clasificar en las categorías anteriores por tener una densidad y resistencia variadas.

Algunas maderas de especies duras o blandas presentan mayor o menor resistencia y características que las hacen más fácil o difícil de trabajar, por lo que la clasificación es en la práctica referida a la facilidad o dificultad que en general presentan las maderas para el trabajo con herramientas (Villalba, 2010).

Se define como la resistencia que opone la madera a la penetración de cuerpos extraños como ciertas herramientas, clavos, tornillos, etc. La dureza está relacionada con la densidad y tiene una marcada importancia en su relación con la dificultad de su trabajo ya sea realizado manual o mecánicamente.

Es la resistencia que presenta un material a ser clavado por puntas o a ser aserrado. En general los árboles de hoja caduca tienen maderas con menos contenido en agua y por lo tanto más duras. Por el contrario, los de hoja perenne presentan más agua en su interior y su madera es más blanda (Castellanos, et al., 2014).



Fuente: (CORMA, 2007)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR

1. Localización

Las muestras para la presente investigación se las recolectó en la finca Bella Sombra propiedad del señor Lenín Coloma de Morejón, parroquia San José, cantón Puyo, provincia de Pastaza.

La investigación se realizó en: el laboratorio del Centro Experimental del Riego (CER) de la Facultad de Recursos Naturales y el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se encuentra ubicada en la Panamericana Sur, Km 1½ de la ciudad de Riobamba.

2. Ubicación geográfica.

La finca Bella Sombra está a:

Altura: 976 m.s.n.m.

Latitud: 01°31'S

Longitud: 78°03'W

Coordenadas: 18-M 0179023 9850619

3. Características Climáticas y edafológicas.

Temperatura media anual: 20,2°C

Precipitación media anual: 4222,7 mm

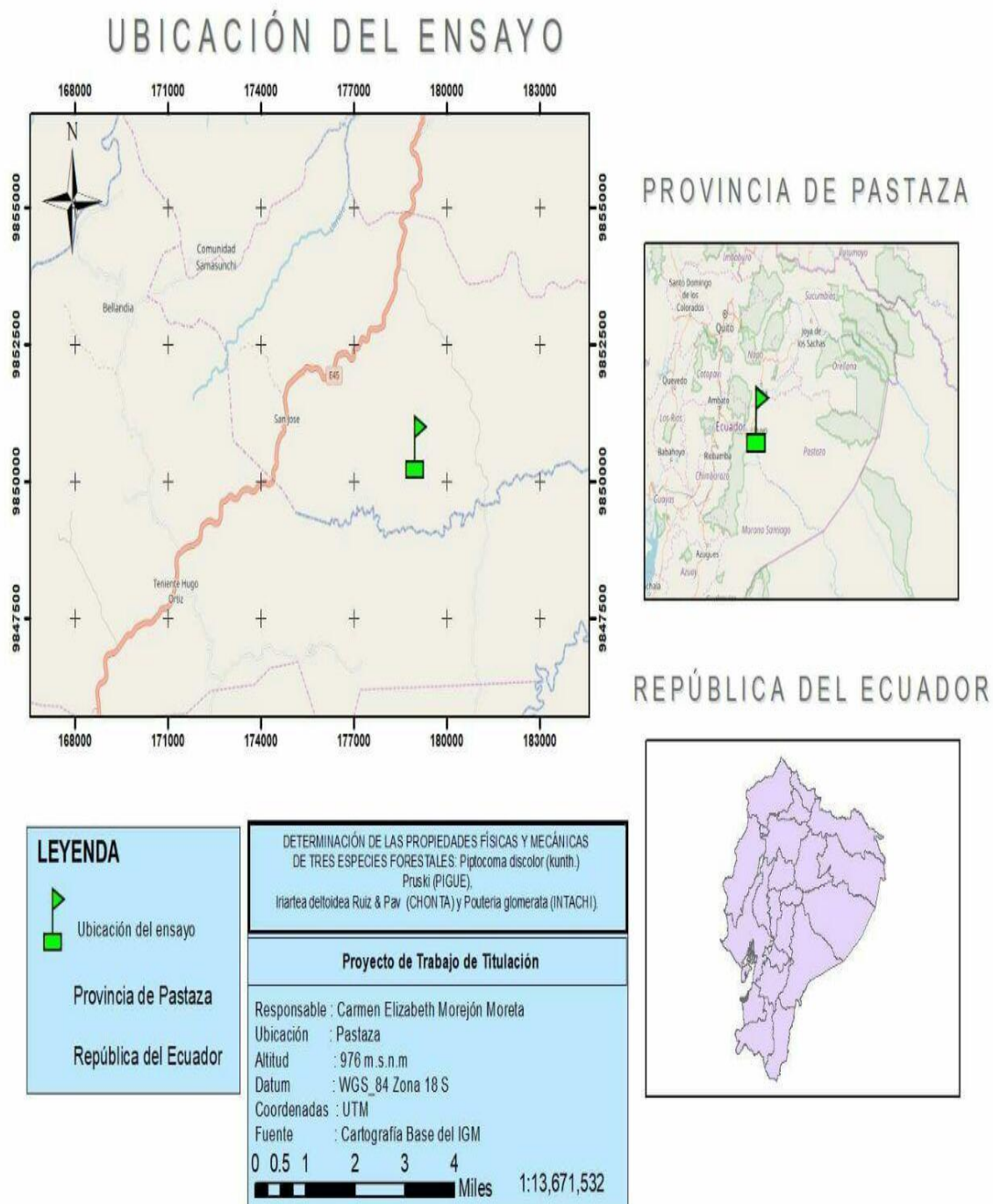
Humedad relativa: 85-90 %

Suelos: Pseudo limoso

Clasificación ecológica: bosque pluvial Pre Montano.

Fuente: (MAE, 2012)

Mapa 1. Mapa de ubicación de la finca Bella Sombra donde se extrajo las especies a investigar.



Elaborado por: Morejón E, 2017

B. MATERIALES Y EQUIPOS

1. Materiales De Oficina

Libreta de apuntes, lápiz, marcador, cámara fotográfica, computador.

2. Materiales Y Equipos De Laboratorio

Probetas de madera de tres especies forestales (Pigue, Chonta, Intachi), GPS, forcípula, clinómetro, moto sierra, segueta, machete, sierra circular, canteadora, cepilladora, torno con juego de bujías, balanza digital, estufa, calibrador digital, estereoscopio electrónico, maquina universal marca TINIUS OLSEN con capacidad de carga de 100.000 kg dividida en escalas de: 2.000, 10.000, 50.000 y 100.000 kg respectivamente, deformímetro con apreciaciones de 0,01mm, identador de 5mm.

C. METODOLOGÍA

1. Comparar las propiedades físicas y mecánicas de tres especies en estado verde.

1.1 Selección de los árboles de cada especie en estudio.

Para la selección de árboles se toma en cuenta a los mejores especímenes el cual cumplen con características especiales como son: fuste recto, DAP adecuado, sin nudos ni ramificaciones, además libre de plagas y enfermedades para las tres especies en estudio q son: Chonta, Pigue e Intachi.

a. Preparación de las trozas

- Se procedió a la eliminación de todas las ramas (desrame) del fuste, desde la base de cada uno de los individuos hasta el ápice, en el caso de las ramas más vigorosas se usó la motosierra y las restantes se cortaron con una segueta o machete respectivamente.
- Las trozas se obtuvieron a partir de la base del fuste con una longitud de 1.50 m cada una.

Tabla 3. Número de muestras a recolectar.

Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Número de muestras	Longitud de la troza (m)	Fecha de recolección
Chonta	25	22	6	1,50	04/06/2016
Pigue	68	17	3	1,50	04/06/2016
Intachi	45	12	3	1,50	04/06/2016

Elaborado por: Morejón E, 2017

- La codificación de las trozas, consistió en marcar cada una, asignando un código para cada especie: Chonta (C1_b, C2_b, C3_m, C4_m, C5_a, C6_a), Pigue (P1_b, P2_m, P3_a) e Intachi (I1_b, I2_m, I3_a). se utilizó tres trozas de acuerdo a la especificación de las normas (ASTM-D143/94, 2000) que terminan obtener las muestras de la base, medio y ápice del árbol, excepto para la chonta que por ser una palmera que se obtuvo 6 trozas porque esta especie solo se la puede aprovechar la parte externa, el corazón es esponjoso.

b. Preparación de las probetas

- Previo a la preparación de las 71 probetas por especie se hicieron los listones de acuerdo a las medidas requeridas por las Normas de la Sociedad Americana para pruebas y materiales (ASTM-D143/94, 2000), que determinan un método para la preparación de muestras de madera aserrada, el cual consiste en realizar cortes sistemáticos en la base del fuste o tronco para obtener piezas de distintas medidas (Tabla 5).

Tabla 4. Dimensiones de los listones para la preparación de las probetas de los ensayos físicos y mecánicos.

ESPECIES	CODIGO	LISTONES (cm)	NÚMERO DE LISTONES	PROBETAS (cm)	NÚMERO DE PROBETAS
PIGUE <i>Piptocoma</i> <i>discolor</i>	P			3x3x10	17
		6 x 6 x 150	5	2,5x2,5x41	9
		4 x 4 x 150	2	5x5x5	9
		3 x 3 x 150	6	1,90x20	9
		2 x 2 x 150	3	5x5x20	9
				5x5x15	9
				2,5x2,5x45	9
INTACHI <i>Pouteria</i> <i>glomerata</i>	I			3x3x10	17
		6 x 6 x 150	5	2,5x2,5x41	9
		4 x 4 x 150	2	5x5x5	9
		3 x 3 x 150	6	1,90x20	9
		2 x 2 x 150	3	5x5x20	9
				5x5x15	9
				2,5x2,5x45	9
CHONTA <i>Iriarteia</i> <i>deltoidea</i>	C			3x3x10	17
		6 x 6 x 150	5	2,5x2,5x41	9
		4 x 4 x 150	2	5x5x5	9
		3 x 3 x 150	6	1,90x20	9
		2 x 2 x 150	3	5x5x20	9
				5x5x15	9
				2,5x2,5x45	9

Elaborado por: Morejón E, 2017

El número de listones que se usaron, se determinó de acuerdo al número de probetas demandada, tanto para los que corresponden a las propiedades físicas, como para las mecánicas, de donde una tercera parte se lo utilizó para los ensayos en verde y las dos terceras partes restantes se las

almacenó en un lugar seco y ventilado con buenas corrientes de aire durante 280 días, para los posteriores ensayos seco al aire y seco al horno respectivamente. Las dimensiones de las probetas se las determinó de acuerdo a las normas DIM o ASTM utilizadas para cada una de las pruebas.

Tabla 5. Normas y dimensiones de las probetas a utilizar en los ensayos para las propiedades físicas y mecánicas.

ENSAYO	PROBETA (Código)	DIMENSIONES (cm)	NÚMERO	NORMAS
Contenido de Humedad	1	3*3*10	17	DIM 52182
Densidad	2	3*3*10	-	DIM 52182
Flexión	3	2.5*2.5*41	9	ASTM D 143/45 - 252
Dureza	4	5*5*5	9	ASTM D 143/83 - 87
Cizallamiento	5	1,90*20	9	MAQUINA UNIVERSAL
Compresión paralela	6	5*5*20	9	ASTM D 143
Compresión perpendicular	7	5*5*15	9	ASTM D 143/94 – 82
Tracción	8	2.5*2.5*45	9	ASTM D 143

Fuente: (DIM, 2012) y (ASTM-D143/94, 2000)

c. Determinación de las propiedades físicas: contenido de humedad, densidad

• Determinación de las propiedades físicas

Para determinar las propiedades físicas como es la densidad y el contenido de humedad, se realizaron ensayos en tres estados: verde, seco al horno, seco al aire; de acuerdo a lo que determina la norma (COPANT-461, 2000) “Selección y colección de las muestras. Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecánicos. Método de determinación de la humedad”, los ensayos se lo realizaron en el Centro Experimental del Riego de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.

- **Contenido de Humedad (C.H)**

Utilizando la norma (DIM, 2012) (Deutsches Institut für Normung) se elaboraron 15 probetas de 3x3x10 cm, cinco probetas para calcular el contenido de humedad inicial en verde, cinco probetas para calcular el contenido de humedad seco al horno y cinco para el cálculo del contenido de humedad seco al aire. Además se realizaron dos probetas adicionales (16 y 17) a las que se les cortó dos centímetros de sus extremos 1 cm a cada lado de donde se obtuvo 4 probetas de 3x3x2 cm, que nos sirvieron para la determinación del peso y dimensiones.

Las probetas generadas se las midió con un calibrador digital primeramente en estado verde en donde su contenido de humedad debió superar el 30%, bajo las mismas condiciones de humedad, se procedió a tomar los datos del peso de cada una de las probetas para lo cual se utilizó una balanza digital con precisión de 0.01g, luego se deshidrató las probetas en una estufa con una temperatura inicial de 35°C la misma que fue elevada cada dos horas a 40, 60, 80, 90 hasta 103°C por 24 horas, finalmente se disecó, midió y pesó nuevamente para obtener los resultados.

El contenido de humedad inicial se determinó de acuerdo a los datos obtenidos al pesar las muestras en estado verde y seco al horno o en la estufa. Para lo cual se utilizó la fórmula siguiente:

$$CH = \left(\frac{P_v - P_s}{P_s} \right) \times 100 \quad (1 \text{ Contenido de humedad})$$

Donde:

CH: Contenido de humedad, %

P_v: Peso en verde al momento de la prueba (gr)

P_s: Peso seco después de la prueba (gr)

- **Densidad**

Para determinar la densidad se usara la norma DIM 52182, bajo los siguientes parámetros:

- ✓ Densidad en verde
- ✓ Densidad seca al aire
- ✓ Densidad seca al horno
- ✓ Densidad básica

Para determinar los cuatro tipos de densidad como se mencionó anteriormente se utilizaron las probetas del ensayo de contenido de humedad, la masa de las probetas se obtuvo utilizando la balanza digital de 0.01 gr de precisión y el volumen midiendo las mismas con un calibrador y la aplicación de la formula Smalian.

Usando los datos de dimensiones lineales por posición de trabajo, en los tres estados verde, seco al horno y seco al aire, se determinó el volumen de las probetas aplicando la siguiente fórmula:

$$V = \frac{(S1+S2)}{2} \times H \quad (2 \text{ Volumen})$$

Donde:

V: Volumen de las probetas (cm³)

S1: Superficie del extremo 1 de las probetas (cm²)

S2: Superficie del extremo 2 de las probetas (cm²)

H: Longitud de las probetas (cm)

Con los mismos datos de pesos y volúmenes obtenidos en estado verde, seco al aire y seco al horno, del contenido de humedad se determinó la densidad de las especies, bajo las condiciones anotadas anteriormente.

Cálculo de pesos específicos y densidad:

Densidad en verde (Dv)

$$Dv = \frac{Pvx}{Vvx} \quad (3 \text{ Densidad en verde})$$

Donde:**Dv:** Densidad verde (gr/cm³)**Pvx:** Masa verde promedio, (gr)**Vvx:** Volumen verde promedio, (cm³)**Densidad seca al aire (Dsa)**

$$Dsa = \frac{Psax}{Vsax} \quad (4 \text{ Densidad seca al aire})$$

Donde:**Dsa:** Densidad seca al aire, (gr/cm³)**Psax:** Masa seca al aire promedio, (gr)**Vsax:** Volumen seco al aire promedio, (cm³)**Densidad seca al horno (Dsh)**

$$Dsh = \frac{Pshx}{Vshx} \quad (5 \text{ Densidad seca al horno})$$

Donde:**Dsh:** Densidad seca al horno promedio, (gr/cm³)**Pshx:** Masa seca al horno promedio, (gr)**Vshx:** Volumen seco al horno promedio, (cm³)**Densidad básica (Db)**

$$D_b = \frac{P_{shx}}{V_{vx}} \quad (6 \text{ Densidad básica})$$

Donde:

D_b: Densidad básica (gr/cm³)

P_{shx}: Masa seca al horno promedio, (gr)

V_{vx}: Volumen verde promedio, (cm³)

d. Determinación de las propiedades mecánicas: flexión estática, cizallamiento o corte, resistencia a la compresión paralela, resistencia a la compresión perpendicular, tracción y dureza.

Para realizar las pruebas mecánicas, se siguieron las normas (ASTM-D143/94, 2000) las que se debió tomar en cuenta para realizar los ensayos en madera.

Los ensayos se establecieron de acuerdo a los tres estados de contenido de humedad: verde en donde las probetas tuvieron un contenido de humedad superior al 30%, estado seco al aire que presentó un contenido de humedad mayor al 12%, y seco al horno donde las probetas debían tener un contenido de humedad del 12%.

Los listones que se usaron para los ensayos en estado seco al aire y seco al horno se colocaron bajo sombra, pero con corrientes de aire circulantes por un lapso de 6 meses aproximadamente. Para los ensayos en estado seco al horno se los sometió a una temperatura de 20°C inicial y constante por varios días de acuerdo al requerimiento de cada especie y en donde se tomarán los datos cada 24 horas hasta que presenten un 12% de contenido de humedad.

Se realizaron los ensayos de: flexión estática, cizallamiento o corte, resistencia a la compresión paralela, resistencia a la compresión perpendicular, tracción y dureza en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se trabajó según lo que establece la norma (ASTM-D143/94, 2000) (American

Society for Testing and Materials), y fueron realizados en la maquina universal, conectada a un gabinete de trabajo y control, que permite apreciar diferentes cargas de 100.000 kg., dividida en escalas de: 2.000, 10.000, 50.000 y 100.000 kg respectivamente, es importante destacar que estos ensayos son de tipo destructivo.

Posteriormente se prepararon las probetas siguiendo las especificaciones de las normas (ASTM-D143/94, 2000) que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6. Dimensiones de las probetas para pruebas mecánicas.

ENSAYO	DIMENSIONES DE PROBETAS (cm)	ESPECIES		
		PIGUE	INTACHI	CHONTA
Flexión estática	2.5x2.5x41	P3	I3	C3
Cizallamiento o corte	1.9x20	P4	I4	C4
Resistencia a la compresión paralela	5x5x20	P5	I5	C5
Resistencia a la compresión perpendicular	5x5x15	P6	I6	C6
Tracción	2.5x2.5x45	P7	I7	C7
Dureza.	5x5x5	P8	I8	C8

Fuente: (ASTM-D143/94, 2000)

- **Flexión estática.**

Los ensayos fueron realizados según la norma ASTM D 143/ 45-252, para los tres tipos de estado de la madera verde, seca al aire y seca al horno, que según esta norma establece calcular el módulo de ruptura, momento de inercia y el momento flector máximo.

Para esta prueba se utilizaron probetas de 2.5x2.5x41 cm, en la maquina universal, se ubicó la cama de flexión y el mandril de aplicación de carga. Se midió el largo exacto de la probeta seguidamente se marcó en la mitad y se colocó en la cama de flexión, la misma que está conformada en sus extremos por dos rodillos con una distancia de 11.8cm, la probeta ya señalada

fue situada en la mitad de la luz, para que la carga sea aplicada en el centro de forma continua lenta y gradual hasta que se produzca la fisura en el probeta.

Con los datos obtenidos en el ensayo se procedió a realizar los cálculos con las siguientes formulas:

$$M_{\max} = \frac{Qx \times L}{4} \quad (7 \text{ Momento Flector Máximo})$$

$$I = \frac{(ax)^2 \times bx^2}{12} \quad (18 \text{ Momento de Inercia})$$

$$C = \frac{(bx)}{2}$$

$$\sigma_f = \frac{M \times C}{I} \quad (9 \text{ Esfuerzo})$$

Donde:

Qx: Carga promedio máxima aplicada, kgf

ax: Ancho promedio, cm

bx: Espesor promedio, cm

L: luz, cm

Mmax: Momento flector máximo, kg, cm.

I: Momento de inercia, cm⁴.

σf: Esfuerzo flector o módulo de ruptura, kgf/cm²

- **Cizallamiento o corte**

Las probetas que se usaron en este ensayo son de 1.90 cm de diámetro y 20 cm de longitud medidas tomadas de acuerdo a las dimensiones de la cámara de corte y el punzón.

Una vez tomados los datos en el ensayo, se procedió a realizar el cálculo del esfuerzo por cizallamiento que se produce al momento del corte, usando las siguientes formulas:

$$\sigma = \frac{Q}{A} \quad (10 \text{ Esfuerzo})$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad (11 \text{ Área resistente})$$

Donde:

Q: Carga soportada por la probeta, kg

A: Área resistente, cm²

d: Diámetro de la probeta, cm

σ : Esfuerzo de cizallamiento, Kg/ cm²

- **Resistencia a la compresión paralela**

Utilizando las probetas de 5x5x20 cm en estado verde, seca al aire y seca al horno que estipula la norma ASTM D-43, se adecuó previamente la maquina universal para proceder a realizar el ensayo y mediante el empleo de un deformímetro con apreciaciones de 0.01 mm se pudo registrar los datos y también observar las deformaciones que se van produciendo por el aumento de cargas en forma gradual, llegando a un límite de elasticidad y de fluencia, posteriormente se ocasionó la ruptura de la probeta debido a un aumento de carga.

Se realizaron los siguientes cálculos: esfuerzo a límite proporcional, resistencia máxima a la compresión y la carga máxima de ruptura, usando los datos previamente tomados. Mediante las siguientes fórmulas:

$$\sigma = \frac{Q}{A} \quad (10 \text{ Esfuerzo})$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (12 \text{ Deformación unitaria})$$

Donde:

Q: Carga aplicada, kg

A: Área resistente, cm²

ε: Deformación unitaria, mm/mm

σ: Esfuerzo unitario, kg/cm²

δ: Deformación, mm

L: Longitud de la probeta, mm

- **Resistencia a la compresión perpendicular**

De acuerdo a las normas ASTM D 143/ 77-82, con probetas de 5x5x20 cm en sus tres estados verde, seca al aire, seca al horno se realizó el ensayo de compresión perpendicular siguiendo el mismo procedimiento del ensayo de compresión paralela pero en este caso adicionándole una lámina de acero de 5mm de espesor, la que fue colocada sobre la probeta y por la acción de cargas suministradas se observó como la lámina penetró en la parte transversal, mediante esta acción se espera la deformación de la probeta.

Con los datos obtenidos en el ensayo se calculó el esfuerzo al límite proporcional, la resistencia máxima a la compresión y la carga máxima de ruptura, utilizando las formulas del ensayo de

compresión paralela, se pudo graficar los valores de esfuerzo frente a la deformación y se realizaron los siguientes cálculos.

$$\sigma = \frac{Q}{A} \quad (10 \text{ Esfuerzo})$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (12 \text{ Deformación unitaria})$$

Donde:

Q: Carga aplicada, kg

A: Área resistente, cm²

ε: Deformación unitaria, mm/mm

σ: Esfuerzo unitario, kg/cm²

δ: Deformación, mm

L: Longitud de la probeta, mm

- **Tracción**

Se realizó el ensayo de tracción con probetas en estado verde, seca al horno y seca al aire con dimensiones de 2.5x2.5x45 cm formadas por una parte central calibrada, como especifican las normas ASTM D 143, en sus dos extremos existen escotaduras, donde se fijaron las mordazas de tracción de la maquina universal. Las probetas fueron medidas y marcadas en su parte central calibrada a una longitud de espaciamento de 20 cm, que delimita el tramo o longitud útil donde se debía situar el deformímetro.

Una vez ubicada la probeta en las mordazas de sujeción del tensiómetro, se procedió a descargar el fluido del mismo, previo a iniciar el ensayo se debió aplicar una cierta carga para que la misma se acople a los dispositivos de retención de la máquina. Esta carga inicial era de 50 kg. Luego de esto se aplicaron las cargas graduales y se pudo observar la deformación de la probeta, se

debió ir registrando los datos que marca el deformímetro ubicado en el intervalo de la longitud útil, se fue aumentando la carga progresivamente hasta llegar a un valor límite de elasticidad. Cuando la carga externa supera el límite de elasticidad, la deformación pasó a ser permanente, iniciándose la fluencia del material, cuando la probeta inicia dicha fluencia con un mínimo aumento de carga, se provocó su ruptura.

Una vez obtenidos los datos del ensayo se calculó la carga máxima, la resistencia a la ruptura y se efectuaron los gráficos específicos de esfuerzo frente a la deformación. Los cálculos se desarrollaron de una manera muy parecida a los que corresponden a la compresión paralela y compresión perpendicular. Usando las mismas formulas:

$$\sigma = \frac{Q}{A} \quad (10 \text{ Esfuerzo})$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (12 \text{ Deformación unitaria})$$

Donde:

Q: Carga aplicada, kg

A: Área resistente, cm²

ε: Deformación unitaria, mm/mm

σ: Esfuerzo unitario, kg/cm²

δ: Deformación, mm

L: Longitud de la probeta, mm

- **Dureza**

El ensayo de dureza se determinó según establece la norma ASTM 143/83-87, de acuerdo a los tres estados de la madera verde, seca al horno y seca al aire, para el procedimiento se utilizaron probetas de 5x5x5 cm, sin fallas ni defectos. El ensayo consistió en la introducción de una esfera

de acero de 5 mm de diámetro, en donde se aplicará una carga constante, con un tiempo de duración de 26 segundos, que dejó una huella de sección circular. Se realizó ensayos para la cara radial, tangencial y longitudinal, posteriormente se procedió a medir el diámetro de la marca dejada por la esfera indentor con la utilización de un estereoscopio electrónico con capacidad de 20 ampliaciones.

Con los datos que se obtuvieron de cada una de las caras de la probeta: transversal (corte en dirección perpendicular al eje del tronco), radial (el corte tiene dirección paralela a los radios) y tangencial (corte tangencialmente a los anillos de crecimiento del árbol). Se calculó la dureza de cada una de las especies en estudio.

Fórmula para el cálculo de dureza Brinell:

$$HB = \frac{2Q}{\pi \times D \times [D^2 - (D^2 - d^2)^{\frac{1}{2}}]} \quad (13 \text{ Dureza Brinell})$$

Donde:

D: Diámetro de la esfera indentor, cm

d: Diámetro de la huella en la probeta, cm

Q: Carga aplicada en la prueba, kg

HB: Dureza Brinell, kg/ cm²

e. Clasificación de las especies de acuerdo a su dureza.

La clasificación de las diferentes especies de acuerdo a la dureza de su madera, se lo realizó tomando en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos físicos (densidad básica) y ensayos mecánicos (dureza Brinell), ya que la dureza de la madera está directamente relacionada con la densidad de la misma según Markwardt y Heck (2001). De acuerdo al ensayo de dureza Brinell se debe obtener probetas en relación a sus caras longitudinal, tangencial y radial para así establecer cuál es la más resistente, para determinar la dureza cada probeta es sometida a una

carga constante y marcada con el identor que es una bola de acero, la cual dejara su huella para luego ser medida con el estereoscopio y con los datos obtenidos realizar los cálculos respectivos para así determinar la dureza que presenta la probeta

Tabla 7. Clasificación de la madera por su dureza.

CLASIFICACION DE LA MEDERA DE ACUERDO A SU DUREZA			
CLASIFICACIÓN SEGÚN:			
DENSIDAD BÁSICA	DENSIDAD	DUREZA	TRABAJABILIDAD
0.24	Muy Liviana	Muy Suave	Muy Fácil
0,33	Liviana	Suave	Fácil
0,61	Mediana	Media	Moderada
0,83	Pesada	Dura	Difícil
1,02	Muy Pesada	Muy Dura	Difícil

Fuente: (Markwardt y Heck, 2001).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

1. Propiedades físicas de la madera en sus tres estados: verde, seco al aire y seco al horno.

a. Contenido de humedad.

Tabla 8. Contenido de humedad en estado verde, seco al aire y seco al horno.

ESTADOS	ESPECIES		
	C	P	I
CHv	29,68	60,16	71,89
CHsa	12,28	15,26	13,00
CHsh	10,74	12,77	11,70

Elaborado por: Morejón E, 2017

CH: Contenido de Humedad.

CHv: Contenido de Humedad en verde.

CHsa: Contenido de Humedad seco al aire.

CHsh: Contenido de Humedad seco al horno.

Una vez tomados los datos respectivos para determinar el contenido de humedad que presentó cada una de las especies en estudio, se pudo apreciar que el mayor contenido de humedad en estado verde de acuerdo a la tabla es el Intachi con el 71,89 % siguiéndole el Pigue con 60,16 % y finalmente la Chonta con el 29,68% de humedad respectivamente.

Con respecto al porcentaje de humedad en estado seco al aire y seco al horno que perdió cada especie, se pudo ver que la Chonta alcanzo el 12,28% seco al aire y 10,74% seco al horno presentando así el menor contenido de humedad con relación a las otras dos especies, Intachi 13,00% y 11,70% y el Pigue con el 15,26 % y 12,77%. Es importante indicar que el Pigue a

pesar de haber contenido un menor porcentaje de humedad que el Intachi en estado verde finalmente presento el mayor contenido de humedad una vez realizada las pruebas en estado seco al aire y seco al horno, esto posiblemente se dio debido a la porosidad que presenta dicha especie es decir que las cavidades entre fibras del Pigue son mayores a las del Intachi, La humedad de la madera está relacionada con su porosidad según Jaramillo F., Ontaneda G. 1989.

Según (Paguay, 2013) en su estudio del contenido de humedad en estado seco al aire y seco al horno en las especies platuquero tiene 12,67% y 11,03%, yagual 12,49 % y 11,11% y el nogal 12,75% y 11,24% respectivamente, frente al porcentaje de contenido de humedad de la chonta 12,28% y 10,74%, Pigue 15,26% y 12,77 e Intachi 13,00%, y 11,70%. El Pigue presenta un valor más alto en relación al estudio mencionado debido posiblemente a la mayor porosidad que presenta; la chonta y el Intachi poseen valores similares posiblemente debido a que presentan espacios menores entre células.

Según (Estrada, 2013) en su investigación del contenido de humedad en estado seco al aire y seco al horno en las especies moral fino tiene 15,71%; 13,08%, caoba 24,36%; 14,83% y laurel 25,75% 15,32%, frente al porcentaje de contenido de humedad de la chonta 12,28% y 10,74%, Pigue 15,26% y 12,77 e Intachi 13,00%, y 11,70%. Los valores de chonta, Pigue e Intachi son menores debido posiblemente al tiempo de secado que fue en época de verano.

b. Densidad.

Tabla 9. Resultados, prueba de densidad.

Condición	Especie/Código		
	C (1-2)	P(1-2)	I(1-2)
Dvx (gr/cm³)	1,24	0,70	1,05
Dsax (gr/cm³)	1,09	0,69	0,97
Dshx (gr/cm³)	1,04	0,52	0,68

Elaborado por: Morejón E, 2017

Dvx: Densidad verde promedio

DSax: Densidad seca al aire promedio

DShx: Densidad seca al horno promedio

En la Tabla anterior que representa la densidad en los tres estados nos facilitó definir los valores obtenidos para cada especie. En estado verde la Chonta tuvo una densidad de 1,24 gr/cm³ clasificación muy alto, Intachi con 1,05 gr/cm³ es moderadamente alto y el Pigue con 0,70 gr/cm³ es moderadamente bajo, la clasificación se la hizo de acuerdo al Cuadro A (anexos) propuesto por Sotomayor 1987, Hinojosa H y Zavala P 1992,

En estado seco al aire, la Chonta está clasificada como moderadamente alto con 1,09 gr/cm³, Intachi 0,97 gr/cm³ es mediano y Pigue moderadamente bajo con 0,69 gr/cm³.

La densidad de la madera en estado seco al horno se clasificó de la siguiente manera: Chonta 1,04 gr/cm³ moderadamente alto, Intachi 0,68 gr/cm³ moderadamente bajo y Pigue 0,52 gr/cm³ bajo.

Según (Paguay, 2013) en los resultados de densidad obtenidos en estado verde, seco al aire y seco al horno en las especies platuquero 0,98; 0,73 y 0,72 gr/cm³; yagual 0,99; 0,85 y 0,84 gr/cm³ y nogal 0,81; 0,65 y 0,64 gr/cm³, frente a la densidad de la chonta 1,24; 1,09 y 1,04 gr/cm³; Pigue 0,70; 0,69 y 0,52 gr/cm³; Intachi 1,05; 0,97 y 0,68 gr/cm³. La chonta presenta un valor más alto posiblemente debido a que es una arecaceae, el Pigue e Intachi presentan valores similares debido a que son también latifoliadas como las otras tres especies estudiadas.

Según (Estrada, 2013) de acuerdo a su estudio de densidad en las especies moral fino 0,95; 0,89 y 0,85 gr/cm³; caoba 0,89; 0,814 y 0,762 gr/cm³; y laurel 0,66; 0,53 y 0,4 gr/cm³, en estado verde, seco al aire y seco al horno; frente a la densidad de la chonta 1,24; 1,09 y 1,04 gr/cm³; Pigue 0,70; 0,69 y 0,52 gr/cm³; Intachi 1,05; 0,97 y 0,68 gr/cm³. Las tres especies chonta, Pigue e Intachi presentan una densidad un poco más alta posiblemente debido a las condiciones geológicas y climáticas que presenta la región amazónica en relación a la costa.

2. Propiedades mecánicas de la madera en sus tres estados: verde, seco al aire y seco al horno.

a. Flexión Estática. (3 prueba mecánica)

Tabla 10. Resultados del esfuerzo en el ensayo de resistencia a la flexión.

Prueba (3)	ESTADO	ESPECIES		
		C	P	I
Flexión estática δ (kgf/cm²)	Sa	1473,29	702,25	551,49
	Clasificación	Mediano	Muy Bajo	Muy Bajo
	V	1278,64	646,15	501,56
	Clasificación	Mod. Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
	Sh	2091,38	1255,03	1163,48
	Clasificación	Mod. Alto	Mod. Bajo	Mod. Bajo

Elaborado por: Morejón E, 2017

δ = Esfuerzo flector o módulo de ruptura. (Kgf/cm²)

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de flexión estática que se muestra en la Tabla 10 y con la ayuda del cuadro comparativo A (anexos) se pudo comparar los resultados y clasificarlos de la manera siguiente: la Chonta presento los valores más altos en los tres estados, seco al aire 1473,29 kg/cm², verde 1278,64 kg/cm² y seco al horno 2091,38 kg/cm² clasificándose como mediano, moderadamente bajo y moderadamente alto; con respecto al Pigue e Intachi se pudo ver que los resultados más altos se presentaron estando las probetas secas al horno Pigue 1255,03 kg/cm² y el Intachi 1163,48 kg/cm² clasificándose los resultados como Moderadamente bajo, los resultados restantes por presentar un valor inferior a todos los demás se clasificaron como Muy bajo en estado seco al aire y en verde para las dos especies Pigue e Intachi. Cabe recalcar que el Pigue en este ensayo presento una mayor resistencia frente al Intachi en sus tres estados.

Según (Paguay, 2013) en su investigación determinó que la resistencia a la flexión en verde, seco al aire y seco al horno del platuquero 487,26; 748,63 y 749,02 kg/cm², yagual 283,63; 469,21 kg/cm² y 470,09, nogal 396,64; 703,29 y 706,05 kg/cm²; frente a la chonta 1278,64;

1473,29 y 2091,38 kg/cm², Pigue 646,15; 702,25 y 1255,03 kg/cm², Intachi 501, 51; 551,49 y 1163,48 kg/cm². Las tres especies Chonta, Pigue e Intachi presentaron resultados más altos debidos posiblemente a que son especies de la amazonia y las condiciones climáticas son diferentes a las de la sierra.

Según (Estrada, 2013) en sus ensayos obtuvo que la resistencia a la flexión en el moral fino fue de 1404; 2414 y 3312 kg/cm², caoba 1099; 1352 y 1859 kg/cm², laurel 379; 544 y 685 kg/cm², para los tres estados; frente a la chonta 1278,64; 1473,29 y 2091,38 kg/cm², Pigue 646,15; 702,25 y 1255,03 kg/cm², Intachi 501, 51; 551,49 y 1163,48 kg/cm². Los resultados en este caso son similares posiblemente debido a que son especies que se desarrollan en climas cálidos.

b. Cizallamiento o Corte. (4 prueba mecánica)

Tabla 11. Valores promedio y clasificación, ensayo de resistencia al corte.

Prueba (4)	ESTADO	Especie		
		C	P	I
Corte σ_x (kgf/cm ²)	Sa	1575,20	542,55	820,12
	Clasificación	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto
	V	1115,60	485,05	621,59
	Clasificación	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto
	Sh	1611,74	565,00	829,90
	Clasificación	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto

Elaborado por: Morejón E, 2017

σ_x : Resistencia o esfuerzo al cizallamiento o corte. Kgf/cm²

Analizando los datos de la Tabla 17 y el Gráfico 10 correspondiente a este ensayo se puede definir que los resultados de las tres especies como en los tres estados, se ubican en la clasificación Muy Alto de acuerdo al cuadro comparativo C de Hinojosa H y Zabala P 2000.

De acuerdo a los valores arrojados, se puede corroborar lo que señala (Paguay, 2013) mencionando a Andrade 1990, donde expone que mientras menor sea el contenido de humedad existe en la madera mayor será la resistencia, ya que a medida que las maderas se secan las paredes celulares se vuelven más duras y rígidas lo cual genera un aumento de las propiedades mecánicas argumento que sostiene refiriéndose a estudios realizados en la anatomía y secado de la madera.

Según (Paguay, 2013) en su trabajo de investigación realizado para determinar la resistencia al corte en estado verde, seco al aire y seco al horno de las especies platuquero 503,46; 526,92; 531,20 kg/cm²; yagual 435,24; 478,50; 482,00 kg/cm² y nogal 524,99; 537,94; 540,27 kg/cm²; frente a la chonta 1115,60; 1575,20; 1611,74 kg/cm²; Pigue 485,05; 542,55; 565,00 kg/cm²; Intachi 621,59; 820,12; 829,90 kg/cm². Se pudo observar que la chonta dio un resultado notoriamente alto en relación a las demás especies posiblemente podría ser debido a que es una palmera; el Intachi y el Pigue por ser latifoliadas al igual que las otras especies estudiadas presentan resultados similares probablemente.

Según (Estrada, 2013) en su estudio determinó el esfuerzo al corte que presentaron las especies moral fino 958; 1185; 1230 kg/cm²; caoba 647; 862; 938 kg/cm² y el laurel 269; 358; 499 kg/cm², frente a la chonta 1115,60; 1575,20; 1611,74 kg/cm²; Pigue 485,05; 542,55; 565,00 kg/cm²; Intachi 621,59; 820,12; 829,90 kg/cm². Podría decirse que posiblemente la chonta por presentar una estructura diferente en sus fibras muestra mayor resistencia al corte a diferencia de las demás especies.

c. Resistencia a la Compresión Paralela. (5 prueba mecánica)

Tabla 12. Resistencia al esfuerzo y clasificación, ensayo de compresión paralela en tres estados Sa/V/Sh.

PRUEBA (5)	ESTADOS	ESPECIE		
		C	P	I
Compresión paralela a las fibras σ_x (kgf/cm²)	Sa	1561,61 Mediano	1424,52 Mod. Bajo	995,95 Bajo
	V	1437,37 Mod. bajo	1112,07 Mod. Bajo	682,59 Muy Bajo
	Sh	1797,30 Alto	1538,11 Mediano	1460,12 Mediano

Elaborado por: Morejón E, 2017

σ_x : Esfuerzo unitario o resistencia a la ruptura.

Haciendo el análisis respectivo de la Tabla anterior podemos decir que las especies en estudio presentaron un comportamiento que sigue lo señalado por la Ley de Hooke la cual establece que el “esfuerzo es proporcional a la deformación, hasta un determinado valor de la carga”. (Igartua, et al., 2009). Definición que se verifica con los resultados obtenidos en el ensayo, donde las tres maderas en estado seco al horno presentan una mayor resistencia a la ruptura o esfuerzo.

Guiándonos en el cuadro comparativo D (anexos) se clasifican los valores de la siguiente manera: en estado seco al horno la Chonta presenta un nivel de clasificación alto, mediano para las dos especies restantes; moderadamente bajo en estado verde en el caso de las tres especies y en estado seco al aire se clasifican como Mediano, Moderadamente bajo y Bajo respectivamente para Chonta, Pigue e Intachi de acuerdo a Hinojosa H y Zabala P 2000.

Según (Paguay, 2013) en la investigación para determinar la compresión paralela en estado verde, seco al aire y seco al horno obtuvo los siguientes resultados en platuquero 268,35; 392,07; 394,64 kg/cm², yagual 153,60; 260,06; 279; 87 kg/cm² y nogal 195,89; 396,37; 399,57 kg/cm²,

frente a la chonta 1437,37; 1561,61; 1797,30 kg/cm², Pigue 1112,07; 1424,52; 1538,11 kg/cm², Intachi 682,59; 995,95; 1460,12 kg/cm². Las tres especies chonta, Pigue e Intachi presentan resultados un poco más altos posiblemente debido al tipo de suelos y los nutrientes que en él se encuentran y las especies se desarrollan en el oriente.

Según (Estrada, 2013) en sus resultados obtuvo en el moral fino 264; 329; 346 kg/cm², caoba 248; 336; 346 kg/cm², laurel 48; 60; 138 kg/cm², frente a la chonta 1437,37; 1561,61; 1797,30 kg/cm², Pigue 1112,07; 1424,52; 1538,11 kg/cm², Intachi 682,59; 995,95; 1460,12 kg/cm². Los resultados presentaron una diferencia bastante notoria en el Pigue, chonta e Intachi posiblemente debido al tipo de corte al momento de realizar las probetas.

d. Resistencia a la Compresión Perpendicular. (6 prueba mecánica)

Tabla 13. Resistencia al esfuerzo y clasificación, ensayo de compresión perpendicular en tres estados Sa/V/Sh.

PRUEBA (6)	ESTADOS	ESPECIE		
		C	P	I
Compresión perpendicular a las fibras σ_x (kgf/cm²)	Sa	151,03 Alto	109,66 Mediano	128,36 Mediano
	V	136,73 Mediano	70,47 Moderadamente Bajo	121,95 Mediano
	Sh	259,55 Muy Alto	118,62 Mediano	147,49 Alto

Elaborado por: Morejón E, 2017

σ_x : Esfuerzo unitario o resistencia a la ruptura.

Los resultados obtenidos en las tablas 29 y 30, nos permiten analizar la resistencia de las maderas de acuerdo a su especie y estado.

Las tres especies Chonta, Pigue e Intachi con 259,55; 118,62; 147,49 Kgf/cm² en estado seco al horno presentan los valores más altos con relación a los otros dos estados, resultados que se

clasifican de acuerdo a Hinojosa H y Zabala P 2000 como: Muy Alto, Mediano y Alto respectivamente.

En estado verde se obtuvo los valores más bajos Chonta 136,73 Kg/cm², Pigue 70,47 Kg/cm², Intachi 121,95 Kg/cm² con clasificación Mediano, Moderadamente bajo y Mediano y en estado seco al aire la primer especie con 151,03 Kg/cm² se clasifica como Alto y las dos restantes como Mediano con 109,66 y 128,36 Kg/cm². (Cruz de León, 2011) Señala que La compresión perpendicular aumenta debido al efecto de la degradación de la madera por el ataque de hongos ya que los elementos que están sujetos a esta propiedad son entre otros, travesaños de puertas y las partes de vigas de madera que están en contacto con el muro.

Según (Estrada, 2013) en su trabajo de investigación en sus tres estados determinó que el moral fino tiene una compresión perpendicular de 616; 810; 1056 kg/cm², caoba 472; 584; 1000 kg/cm², laurel 155; 241; 616 kg/cm², comparando con la chonta 136,73; 151,03; 259,55 kg/cm², Pigue 70,47; 109,66; 118,62 kg/cm², Intachi 121,95; 128,36; 147,49 kg/cm². La chonta, Pigue y el Intachi en este ensayo presentan resultados más bajos posiblemente debido a que estas especies se desarrollan en un ambiente con un porcentaje de humedad más elevado con relación a las especies costaneras.

Según (Paguay, 2013) en su estudio de compresión perpendicular obtuvo que el platuquero 105,82; 144,27; 149,2 kg/cm², yagual 127,94; 150,42; 155,04 kg/cm², nogal 98,92; 166,18; 176,58 kg/cm² en sus tres estados, frente a la chonta 136,73; 151,03; 259,55 kg/cm², Pigue 70,47; 109,66; 118,62 kg/cm², Intachi 121,95; 128,36; 147,49 kg/cm². El Pigue y el Intachi nos muestran resultados similares posiblemente debido a que sus cavidades celulares son diferentes a las de la chonta la cual presenta los valores más altos.

e. Tracción. (7 prueba mecánica)

Tabla 14. Resultados obtenidos, prueba de resistencia a la tracción.

ESTADO	ESPECIE		
	C	P	I
Sa	1232,12	761,48	568,46
V	1047,57	561,64	474,56
Sh	1518,58	994,67	630,94

Elaborado por: Morejón E, 2017

Se pudo observar en este ensayo que los resultados según la Tabla antes mencionada en relación a las especies, la que presento mayor resistencia es la Chonta con: 1232,12; 1047,57; 1518,58 kg/cm², seguida por el Pigue con: 761,48; 561,64; 994,67 kg/cm² y finalmente el Intachi con: 568,46; 474,56; 630,94 kg/cm² en sus tres estados seco al aire, verde y seco al horno según la ubicación de los resultados. Como se pudo ver el tercer valor en las tres especies es el más alto, esto quiere decir que presentó la mayor resistencia a la tracción debido a que es seco al horno mientras que el segundo valor es el más bajo demostrando así que las maderas en estado verde presentan una menor resistencia a la tracción debido al alto contenido de humedad que tuvieron al momento de la práctica.

Según (Estrada, 2013) quien gracias a su trabajo de investigación de resistencia a la tracción en estado verde, seco al aire y seco al horno obtuvo lo siguiente moral fino 260; 411; 1018 kg/cm², caoba 348; 397; 911 kg/cm², laurel 255; 264; 480 kg/cm², frente a la chonta 1047,57; 1232,12; 1518,58 kg/cm², Pigue 561,64; 761,48; 994,67 kg/cm², Intachi 474,56; 568,46; 630,94 kg/cm². El Pigue y el Intachi presentaron valores similares a diferencia de la chonta debido posiblemente a que sus fibras son alargadas y tubulares.

Según (Paguay, 2013) en la investigación que efectuó determino que el platuquero tiene una resistencia a la tracción de 204,96; 260,05; 290,98 kg/cm², yagual 228,80; 305,70; 330,70 kg/cm², nogal 162,68; 444,53; 464,60 kg/cm², frente a la chonta 1047,57; 1232,12; 1518,58

kg/cm², Pigue 561,64; 761,48; 994,67 kg/cm², Intachi 474,56; 568,46; 630,94 kg/cm². Las tres especies Chonta, Pigue e Intachi presentaron mayor resistencia a la tracción posiblemente esto se debe a la posición de corte de las probetas.

f. Dureza Brinell. (8 prueba mecánica)

Tabla 15. Promedio de los resultados obtenidos en la prueba de Dureza Brinell.

CARAS L-T-R	ESTADOS Sa/V/Sh	ESPECIE/CÓDIGO		
		C	P	I
HB. L.T.R	Sa	785,90	392,31	395,75
HB. L.T.R	V	785,90	390,65	392,31
HB. L.T.R	Sh	796,19	392,31	400,89

Elaborado por: Morejón E, 2017

HB. CR. CT. CL: Dureza de la madera cara radial, tangencial y longitudinal.

Realizando el análisis respectivo con relación a la Tabla 15 podemos mencionar que las tres especies en estudio presentan los valores un poco más altos en estado seco al horno con relación al estado verde y seco al aire, a excepción del Pigue que presento el mismo valor tanto en estado seco al horno como seco al aire quedando los datos de la siguiente manera: seco al horno 796,19; 392,31 y 400,89 Kg/cm², verde 785,90; 390,65; 392,31 Kg/cm² y en seco al aire 785,90; 392,31 y 395,75 Kg/cm² para la Chonta, Pigue y el Intachi respectivamente; comparando entre el estado verde y seco al aire el que arrojo valores más bajos fue el estado verde a diferencia de la Chonta en donde los resultados son los mismo para los dos estados.

Continuando con el análisis de acuerdo a las caras tenemos que: la chonta en estado seco al horno cara tangencial es la más resistente, el Pigue presento el mismo valor 392,31 Kg/cm², en sus tres caras y estados a excepción del dato en estado verde en la cara radial con 387,34 Kg/cm²

que fue el más bajo y finalmente el Intachi presento el valor más alto 402,63 Kg/cm² en estado seco al aire y seco al horno de la cara longitudinal al igual que en la cara radial estado seco al horno.

Finalmente para realizar la clasificación de Dureza según Hinojosa H y Zavala P 2000 con el cuadro F y la Tabla 15 de resultados podemos indicar que la madera más resistente a las pruebas fue la Chonta clasificándose como Muy Dura en los tres estados mientras que el Pigue y el Intachi se clasifican como semi duras.

Según (Paguay, 2013) en el estudio que realizo para definir la dureza Brinell en los tres estados de las especies platuquero 254,35; 331,47; 348,32 kg/cm², yagual 258,93; 393,84; 394,13 kg/cm², nogal 225,55; 382,32; 388,27 kg/cm², frente a la chonta 785,90; 785,90; 796,19 kg/cm², Pigue 390,65; 392,31; 392, 31 kg/cm², Intachi 392,31; 395,75; 400,89 kg/cm². El Pigue y el Intachi con las otras especies presentaron valores similares posiblemente debido a que son especies latifoliadas mientras que la chonta mostro más resistencia por ende un valor más alto posiblemente se debe a que es una palmera.

Según (Estrada, 2013) en su investigación determina que moral fino tiene 544; 719; 794 kg/cm², caoba 483; 649; 769 kg/cm², laurel 371; 420; 463 kg/cm² en sus tres estados verde, seco al aire y seco al horno, frente a la chonta 785,90; 785,90; 796,19 kg/cm², Pigue 390,65; 392,31; 392, 31 kg/cm², Intachi 392,31; 395,75; 400,89 kg/cm². En este caso todas las especies presentan valores semejantes posiblemente se deba a las condiciones cálidas en las que las especies de las dos investigaciones se desarrollan.

VI. CONCLUSIONES

- En cuanto a las propiedades físicas como mecánicas se pudo determinar que las dos son de suma importancia, ya que para realizar cualquier prueba mecánica debemos conocer del contenido de humedad y la densidad de la madera con la que se vaya a trabajar, comprobando así que la madera debe estar seca al horno a 120°C constantes por 20 días ya que esta presentó los mejores resultados de resistencia en todos los ensayos.
- Las propiedades físicas para contenido de humedad (CH) y densidad en estado verde de las tres especies fueron, para chonta 29,68 % de CH y 1,24 gr/cm³ clasificación muy alto; Pigue 60,16% CH, densidad 0,70 gr/cm³ clasificación moderadamente bajo; y el Intachi 71,89% de CH y 1.05 gr/cm³ de densidad moderadamente alto.
- En los estados seco al aire y seco al horno la chonta presentó un contenido de humedad del 12,28% y 10,74% respectivamente, la densidad en estado seco al aire 1,09 gr/cm³, seco al horno 1,04 gr/cm³ clasificación fue moderadamente alto para los dos casos; el contenido de humedad en Pigue seco al aire 15,26% y 12,77% seco al horno, su densidad fue de 0,69 gr/cm³ moderadamente bajo y 0,52 gr/cm³ clasificación bajo estado seco al horno y el Intachi tuvo 13,0 % CH seco al aire 11,70% seco al horno y la densidad fue de 0,97 gr/cm³ es mediano y 0,68 gr/cm³ moderadamente bajo.
- Dentro de las propiedades mecánicas la especie con los resultados más altos fue la chonta, en los tres estados se obtuvo lo siguiente: Flexión estática 1278,64 kg/cm² clasificación moderadamente bajo en verde, 1473,29 kg/cm² clasificación mediano estado seco al aire y 2091,38 kg/cm² moderadamente alto en seco al horno; el esfuerzo que mostro al corte fue de 1115,60 kg/cm² en verde, 1575,20 kg/cm² seco al aire y 1611,74 kg/cm² seco al horno clasificación muy alto en los tres estados, resistencia a la compresión paralela en estado verde 1437,37 kg/cm² clasificación moderadamente bajo, seco al aire 1561,61 kg/cm² mediano, seco al horno 1797,30 kg/cm² clasificación alto, compresión perpendicular a las

fibras 136,73 kg/cm² clasificación mediano, seco al aire 151,03 kg/cm² alto y seco al horno 259,55 kg/cm² muy alto. Resistencia a la tracción 1047,57 kg/cm² en verde, seco al aire 1232,12 y 1518,58 seco al horno, dureza Brinell estado verde 785,90 kg/cm², seco al aire 785,90 y 796,19 kg/cm² seco al horno clasificación muy dura en los tres estados.

- El Pigue dentro de las propiedades mecánicas presento los siguientes resultados: flexión en estado verde 646,15 kg/cm² muy bajo, seco al aire 702,25 Kg /cm² muy bajo, seco al horno 1255,03 Kg /cm² moderadamente bajo. Corte en estado verde 485,05 kg/cm² muy alto, seco al aire 542,55 kg/cm² clasificación muy alta y seca al horno 565,00 kg/cm² muy alto. Compresión paralela estado verde 1112,07 kg/cm² moderadamente bajo, seco al aire 1424,52 Kg /cm² moderadamente bajo, seco al horno 1538,11 Kg /cm² mediano. Compresión perpendicular en verde 70,47 kg/cm² moderadamente bajo, seco al aire 109,66 kg/cm² y seco al horno 118,62 kg/cm² clasificación mediano en los dos casos. Tracción en verde 561,64 kg/cm², seco al aire 761,48 Kg /cm² y seco al horno 994,67 Kg /cm². Dureza Brinell en verde 390,65 kg/cm², seco al aire y seco al horno 392,31 Kg /cm² clasificación semi dura.
- En el Intachi se obtuvo lo siguiente: Flexión en verde 501,56 kg/cm², seco al aire 551,49 kg/cm² clasificación muy baja en los dos casos y seca al horno 1163,48 kg/cm² moderadamente bajo. Corte en verde 621,59 kg/cm², seco al aire 820,12 Kg /cm² y seco al horno 829,90 Kg /cm² en los tres estados su clasificación fue muy alto. Compresión paralela en verde 682,59 kg/cm² muy bajo, seco al aire 995, 95 kg/cm² bajo y seco al horno 1460,12 kg/cm² clasificándose como mediano. Compresión perpendicular en verde 121,95 kg/cm², seco al aire 128,36 Kg /cm² clasificación mediano en los dos estados; seco al horno 147,49 Kg /cm² alto. Tracción verde 474,56 kg/cm², seco al aire 568,46 kg/cm² y seco al horno 630, 94 kg/cm². Dureza Brinell en verde 392,31 Kg /cm², seco al aire 395,75 Kg /cm², y seco al horno 400,89 Kg /cm² semi duras en los tres estados.

VII. RECOMENDACIONES

- Es importante realizar el secado de la madera dejándolo aproximadamente en un 12% de contenido de humedad, para obtener mejores resultados en los trabajos evitando las aberturas o aflojamiento entre piezas.
- El Pigue y el Intachi por ser maderas livianas, suaves y de fácil trabajabilidad se las podría dar los siguientes usos:
Carpintería: mueblería, puertas, ventanas, cajonería, etc.
Industria: tableros contrachapados, duelas, aglomerados, chapas decorativas.
Artesanías: utensilios para el hogar, juguetería, mangos de herramientas.
- Al ser una madera dura y resistente a la flexión podemos recomendar la chonta para puentes, muelles, construcción de exteriores.
- Los usos que podemos dar por su compresión paralela en el caso de la chonta y el Pigue es para postes, pilares, divisiones ya que presentan mejor resistencia.
- La chonta y el Intachi podemos recomendar para vigas, durmientes, pisos ya que presentaron mayor resistencia a la compresión perpendicular a las fibras.

VIII. RESUMEN

Esta investigación se la realizó con el propósito de: determinar las propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales: *Piptocoma discolor* (Kunth.) Pruski (Pigue), *Iriartea deltoidea* Ruiz & Pav. (Chonta) y *Pouteria glomerata* (Intachi); y de esta manera dar el uso más apropiado a cada especie de acuerdo a como respondan a cada uno de los ensayos a los que les ha sometido. Es importante mencionar que los ensayos se los realizó en los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, así lo que corresponde a contenido de humedad y densidad que son propiedades físicas se las hizo en el laboratorio del Centro Experimental del Riego de la Facultad de Recursos Naturales y los ensayos restantes pertenecientes a la propiedades mecánicas, en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Mecánica. Este trabajo es de suma importancia debido a la poca investigación que existe en lo que se refiere a las propiedades que posee cada especie así en esta ocasión podemos mencionar el caso del Pigue que únicamente se lo ha venido utilizando para cajonería de frutas y que gracias a este estudio podemos ver que presenta mejores cualidades que el Intachi y perfectamente se lo puede usar en construcciones como postes o pilares incluso en las cubiertas por ser una madera liviana, suave al momento de cortar y de fácil trabajabilidad, el Intachi es una madera excelente para pisos y la chonta para puentes y exteriores por ser una madera dura y resistente.

Palabras clave: PROPIEDADES FÍSICAS - ESPECIES FORESTALES - PROPIEDADES MECÁNICAS – TECNOLOGÍA DE LA MADERA

Por: Cármen Morejón



IX. SUMARY

This research was developed to determine the physical and mechanical properties of three forestry species such as: *Piptocoma discolor* (Kunth) Prusky (Pigue), *Iriartea deltoidea* Ruiz & Pav. (Chonta) and *Pouteria glomerata* (Intachi); thus giving the suitable use to each specie according to their response to the tests. The tests were done at ESPOCH laboratories, using the lab from the irrigation experimental center of the Natural resources faculty for checking the physical properties of humidity and density. The lab from Material resistance of the mechanical Faculty was used to check the mechanical properties. This study is quite important due to the lack of information researched on all the specie properties. One example would be the Pigue case, which has been used for fruit boxing, the same that presents better qualities than Intachi and it can be perfectly used in building poles and pillars even at decks because of its light, soft and easy-to-cut wood. The Intachi is an excellent kind of Wood used for floors and the Chonta used for bridges and outsides because of its hard and strong wood.

Keywords: Physical properties – forestry species – mechanical properties – wood technology



X. BIBLIOGRAFÍA

1. Ananias, R. Salvo, L. Estrada, R. & Briones S, R. (2008). *Estudio experimental del secado a temperaturas convencionales de acacias. Maderas. Ciencia y tecnología. 10(2), 151-162.*
2. Arroyo, A. Hidalgo, D. & Ledesma, M. (2014). *Diferencias anatómicas entre madera caulinar y radical de Eucalyptus viminalis L. Anatomical differences between stem and radical wood of Eucalyptus viminalis L. Arquitectura popular en los Andes. 1(1) 61.* Obtenido de:
<http://200.60.61.132/sites/uncp.edu/files/posgrado/publicaciones/revista-convicciones.pdf#page=61> el 14/06/2017.
3. American Society for Testing and Materials. (2012). ASTM. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Estados Unidos. 1-13.*
4. American Society for Testing and Materials. (2000). ASTM-D143/94. *Standard methods of testing Small Clear Specimens of Timber. Estados Unidos.*
5. Barcéas Pazos, G. Ortega Escalona, F. Ángeles Álvarez, G. & Ronzón Pérez, P. (2014). *Relación estructura-propiedades de la madera de angiospermas mexicanas. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. México. 21(42).* Obtenido de:
<http://132.248.10.25/era/index.php/rera/article/view/332/268> el 14/06/2017.
6. Calderón, M. (2015). *Revisión a las principales características del recurso forestal y de la deforestación. Revista Científica y Tecnológica UPSE. Ecuador 3(1). 41-54.* Obtenido de:
<file:///C:/Users/PC2/Downloads/70-1-290-1-10-20160113.pdf> el 14/06/2017.
7. Campos, A. Cubillos, G. Morales, F. & Pastene, A. (1990). *Propiedades y usos de especies madereras de corta rotación. Corporación de Fomento de la Producción (CORFO).*

Santiago. Chile. 87. Obtenido de:
http://dspace.utralca.cl:8888/ciencias_forestales/diaz_mendez.pdf el: 09/05/2017

8. Cardoso, A. Cagno, M. Cardenas, P. & Gatto, F. (2013). *Contracciòn, hinchamiento y peso específico aparente de madera de eucalipto colorado Eucalyptus tereticornis Smith. Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay. Uruguay. 5-12.* Obtenido de: <http://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC/article/download/234/185> el 12/05/2017.
9. Carrillo, P. (1989). *Propiedades Físicas y Mecánicas de cinco especies nativas: aliso, arrayán, capulí, Molle y quishuar. (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.*
10. Castellanos, J. Pérez, M. & Cerón, J. (2014). *Investigación de ingeniería de la madera. Revista del Laboratorio de Mecánica de la Madera. México 10(3).* 6-65. Obtenido de: https://www.researchgate.net/profile/Javier_Ramon_Sotomayor_Castellanos2/publication/269095948_Caracterizacin_fsico-mecnica_e_indicadores_de_calidad_de_la_madera_de_Lysiloma_spp/links/547f57cb0cf250f1edbd41e.pdf el 15/06/2017.
11. Charria, D. L. G. Rodríguez, V. M. N. Sarmiento, M. & Borralho, N. (2014). *Estimación indirecta de la densidad de la madera mediante el uso de pilodyn en la selección de clones de Eucalyptus pellita F. Muell. Colombia Forestal. Colombia. 17(2).* 181-192.
12. Chave, J. (2006). *Medición de densidad de madera en árboles tropicales. Manual de Campo. Proyecto PAN-AMAZONIA. Ecuador. 2.*
13. Corporación Chilena de la madera. (2007). *La madera. Manual la construcción de viviendas en madera. Chile. 03, (1).* 18-26.

14. Cruz de León, J. (2011). *Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera. Morelia. Mich. México. 402. Obtenido de: <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Consideraciones-tecnologicas-de-la-madera.pdf> el 03/05/2016*

15. Cuevas, E. (2003). *Propiedades físicas y mecánicas de la madera. Material de apoyo en propiedades físicas y mecánicas. (Tesis de grado. Ingeniero de Industrias de la Madera). Universidad de Talca. Escuela de Ingeniería en Industrias de la Madera. Talca. Chile. 68.*

16. Da Silva, L. Ribeiro, P. Gasson & Cutler, D. (2009). *Anatomía en densidad básica de madera de Caesalpinia pyramidalis Tul. (Fabaceae), especie endémica de Caatinga del Noreste de Brasil. Acta Botànica Brasil. Brasil. 436-445.*

17. Díaz Méndez, P. (2005). *Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de madera de Nothofagus Glauca (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. (Tesis de grado. Ingeniero de Industrias de la Madera). Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Ingeniería de Industrias de la Madera. Universidad de Talca. Chile. 5-22.*

18. Fernández Golfín, J. I. et. al. (2014). *Efecto de la temperatura de termotratamiento en el comportamiento eléctrico de la madera de pino radiata. Maderas. Ciencia y tecnología. México. 16(1). 25-36.*

19. Fritz, A. (2004). *Manual la construcción de viviendas en madera. Corporación Chilena de la Madera. Chile. 5-28. Obtenido de: https://books.google.com.ec/books?id=sM0oCAAAQBAJ&pg=PA531&lpg=PA531&dq=Fritz+%282004%29+madera&source=bl&ots=hrtM4QdcWl&sig=UOocYJaIdNhKkFIV_gFsxq8NkU&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwif0KSUw_XMAhXTQD4KHUXQCBMQ6AEIVDAN#v=onepage&q=Fritz%20%282004%29%20madera&f=false el: 22/05/2017*

20. Gómez, P. & Moya Roque, R. (2012). *Comportamiento y costos de secado al aire y preservación por inmersión y difusión de madera de Tectona grandis Lf y Bombacopsis quinata (Jacq.) Dugand de plantaciones de rápido crecimiento en el norte de Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana Kurú. Costa Rica. 5 (13). 19-31. Obtenido de: <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/466> el 15/06/2017.*

21. Honorato, S. & Fuentes, L. (2001). *Propiedades físico-mecánicas de la madera de cinco especies de encino del estado de Guanajuato. Ciencia Forestal. Guanajuato. México. 26. 5-28.*

22. Instituto alemán de normalización. DIN. (2012). *Propiedades físicas de la madera de Pinus caribaea var. hondurensis, resinado y no resinado de las plantaciones de Uverito (Monagas, Venezuela). REVISTA FORESTAL VENEZOLANA. Monagas. Venezuela 56(1). 21-28. Obtenido de: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/36848/1/articulo%202.pdf> el 14/06/2017.*

23. León H, W. J. (2010). *Anatomía y densidad o peso específico de la madera. Revista Forestal Venezolana. Venezuela. 67-76.*

24. López, A. (2014). *Variación del color de la madera de Eucalyptus dunnii Maiden. VI Reunión GEMFOINTA EEA Bella Vista Corrientes. Buenos Aires. Argentina. 18.*

25. Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012. *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.*

26. Martínez H. E. & Pérez Cuba, C. 2015. *Cámara automatizada para el secado de madera. Monterico. Obtenido de: <http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/579976/3/Presentaci%C3%B3n.pdf> el 14/06/2017.*

27. Nalvarte, J. et. al. (2013). *Estudio de las propiedades mecánicas de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. Utilización industrial y mercado de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. Chile. 4 - 8. Rescatado de:* http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical%20report%20%20Propiedades%20mec%C3%A1nicas%20de%2010%20especies%20de%20bosques%20secundarios.pdf el: 03/06/2017

28. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales*. Roma. 89-108

29. Paguay P, I. (2013). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales andinas: platuquero (Styloceras sp), yagual (Polylepis racemosa), nogal (Juglans neotropica). (Tesis de grado. Ingeniero Forestal). Escuela de Ingenieria Forestal. Facultad de Recursos Naturales. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador. 14-35.*

30. Palacios, W. (2011). *Arboles del Ecuador 2011. COPYWRITE. Quito. Ecuador.123.*

31. Patiño, P. 2014. *Análisis estructural de diafragmas de madera..* Cuenca- Ecuador. Obtenido de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20930/1/TESIS.pdf> el 15/06/2017.

32. Pérez Ortega, Á. (2014). *Comparación de ensayos a compresión de madera estructural mediante norma UNE y norma ASTM.Chile. Obtenido de:* <http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/6569/1/TFM-L150.pdf> el 15/06/2017.

33. Pérez, P. Ananias, R. A. & Hernandez, G. (2007). *Estudio experimental del secado de renovales de canelo Drimys winteri. Maderas. Ciencia y tecnología. Chile. 9(1). 59-70.*

34. Rodríguez Anda, Raúl. Zamora Natera, Juan Francisco. Silva Guzmán, José Antonio. Salcedo Pérez, Eduardo. & Fuentes Talavera, Francisco Javier. (2014). *Propiedades físico-mecánicas de madera de teca de plantaciones comerciales. Revista mexicana de ciencias. México* 5(24). 12-25.

35. Sotomayor, J. & Olguín, J. (2014). *Caracterización mecánica por ondas de esfuerzo de madera plastificada de Quercus scytophylla. Enero-Abril. 33-40. Investigación y Ciencia. México. 33-40.*

36. Stefani, P. Piter, J. & Fank, P. (2016). *Análisis de la relación entre las propiedades mecánicas en flexión y tracción paralela a las fibras en la madera de Pino Resinoso cultivado en el Nordeste de Argentina. Argentina. 3-13.*

37. Villalba, H. (2010). Materiales de uso técnico. La Madera. *Tecnología Industrial I. Chile. 1-7.* Obtenido de:
https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/02/materiales_madera.pdf el 12/05/2017.

38. Zavala, P. (1992). *Propiedades Físicas y Mecánicas de cinco especies nativas: naranjo, chachacoma, piquil, guzmán y gañal. Ecuador.*

XI. ANEXOS

Anexo 1. Cuadro A. Límite de valores para la clasificación de especies.

Propiedad	Densidad: seco al aire - verde - seco al horno	Contracción volumetrica	Relación T/R verde- seco horno	Módulo de ruptura en flexión	Resistencia máxima en compresión paralela	Esfuerzo al 1.p en compresion perpendicular	Dureza (lados)	Cizallamien to	Tenacidad
Clasificación	gr/cm ³	%		kr/cm ²	kr/cm ²	kr/cm ²	kg	kr/cm ²	kg/m
Muy Bajo	0,35	8	1,4	481	256	21	140	47	0,66
Bajo	0,50	10	1,7	750	750	39	289	71	1,09
Mod. Bajo	0,65	12	2,0	1092	1092	64	518	98	1,58
Mediano	0,85	15	2,3	1458	1458	105	912	135	2,32
Mod. Alto	1,00	17	2,6	1787	1787	142	1285	164	2,90
Muy Alto	1,15	19	3,0	2138	2138	192	1725	194	3,53

Fuente: (Sotomayor 1987, Hinojosa H y Zavala P 1992)

Anexo 2. Cuadro B. Clasificación de la madera de acuerdo a la densidad, dureza y trabajabilidad.

CLASIFICACION DE LA MEDERA DE ACUERDO A SU DUREZA			
CLASIFICACIÓN SEGÚN:			
DENSIDAD BÁSICA	DENSIDAD	DUREZA	TRABAJABILIDAD
0,24	MUY LIVIANA	MUY SUAVE	MUY FACIL
0,33	LIVIANA	SUAVE	FÁCIL
0,61	MEDIANA	MEDIA	MODERADA
0,83	PESADA	DURA	DIFICIL
1,02	MUY PESADA	MUY DURA	DIFICIL

Fuente: (Markwardt y Heck, 2001)

Anexo 3. Cuadro C. Clasificación de la madera de acuerdo al cizallamiento o corte.

CIZALLAMIENTO O CORTE Kg/cm²	CLASIFICACIÓN
45	Muy Bajo
70	Bajo
95	Moderadamente Bajo
135	Mediano
165	Alto
195	Muy Alto

Fuente: Hinojosa H y Zabala P 2000.

Anexo 4. Cuadro D. Clasificación de la madera por la compresión paralela.

COMPRESIÓN PARALELA Kg/cm²	CLASIFICACIÓN
255	Muy bajo
750	Bajo
1090	Moderadamente bajo
1460	Mediano
1790	Alto
2140	Muy alto

Fuente: Hinojosa H y Zabala P 2000.

Anexo 5. Cuadro E Clasificación de la madera por la compresión perpendicular.

COMPRESIÓN PERPENDICULAR Kg/cm²	CLASIFICACIÓN
20	Muy bajo
40	bajo
65	Moderadamente bajo
105	Mediano
145	Alto
195	Muy alto

Fuente: Hinojosa H y Zabala P 2000

Anexo 6. Cuadro F. Clasificación de la madera de acuerdo a la Dureza Brinell.

CLASIFICACIÓN	DUREZA Kg/cm²
Muy Duras	mayor a 600
Duras	de 450 a 600
Semi duras	de 300 a 450
Blandas	menor a 300

Fuente: Hinojosa H y Zavala P 2000